



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación
Secundaria

Representaciones gráficas y textuales de materia y densidad en Educación Secundaria

Antxon Aldaya Aldareguia

Tutora: María Napal Fraile

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a María Napal Fraile su colaboración y gran ayuda para la realización de este trabajo. También agradecer a Julia Ibarra Murillo por darme a conocer el tema y las investigaciones que habían hecho al respecto.

Por supuesto, agradecer a todas las personas que han participado en el cuestionario y a la profesora Luisa De Santisteban Comino, por dejarme el tiempo y espacio necesarios para la realización del cuestionario en alumnado de Educación Secundaria. También quiero agradecer a la profesora Àngels Moltó que se encargó de realizar los cuestionarios en el centro de Barcelona.

Para finalizar, quiero agradecer el apoyo de mi familia y amigos.

RESUMEN

La densidad es un concepto importante para explicar fenómenos en diferentes disciplinas. A pesar de su importancia, existen dificultades para su comprensión debido a su carácter abstracto y a que se trata de una propiedad intensiva que no puede ser medida directamente, debe ser inferida según la relación de masa y volumen. Además, suele confundirse con otras propiedades como la masa. En este trabajo se pretende conocer la comprensión cualitativa de la densidad en alumnado de Educación Secundaria. Además, se analizan las estrategias que usa el alumnado para representar gráficamente la materia y la densidad, comparando la interpretación basada solo en dibujos con las explicaciones en forma de texto. Los resultados obtenidos comprueban que hay dificultades para estimar cualitativamente la densidad. También se observa que muchos estudiantes no tienen estrategias para representar la materia o la densidad. Aquellos que tienen estrategias para representar la densidad, mayoritariamente se refieren al empaquetamiento como causa única de la densidad, sin mencionar la diferencia de masas entre las partículas de distintos materiales como otra causa de la densidad. Los resultados indican que conviene revisar tanto los dibujos como las explicaciones en texto para conocer las ideas del alumnado en cuanto a la densidad.

ÍNDICE

	página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	12
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	14
4. RESULTADOS.....	22
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	42
6. BIBLIOGRAFÍA.....	44
7. ANEXO 1: CUESTIONARIO.....	45

1. INTRODUCCIÓN

La densidad es un concepto central de gran importancia en varias disciplinas como son la física, la química o la biología. En dichas ciencias, la densidad es de gran utilidad a la hora de explicar diversos fenómenos como la flotabilidad, la dinámica de corrientes oceánicas y atmosféricas, la convección en los fluidos o la estratificación de los lagos. También es de gran ayuda en situaciones de la vida cotidiana como comprender las normas de seguridad en caso de fuego. Además, dado que se trata de una propiedad intensiva, es de gran valía a la hora de distinguir e identificar sustancias (Napal, Echeverría, Zulet, Santos & Ibarra, 2017).

La densidad representa la concentración de materia y, por tanto, depende de la composición y de la estructura de esta. Es una propiedad intensiva calculada a partir de la relación de dos propiedades extensivas como son la masa y el volumen ($d = m/V$). Además, la densidad es una propiedad específica de cada sustancia cuando se mantienen constantes las variables de presión y temperatura. Aplicando la teoría cinético-molecular de la materia y teniendo en cuenta la fórmula para el cálculo de la densidad se puede asegurar que, dentro de un mismo estado de agregación, la densidad disminuye con el aumento de temperatura. Esta afirmación se puede sostener porque, según la citada teoría, un aumento de temperatura conlleva un aumento de la vibración de los átomos y las moléculas, provocando una dilatación del objeto. La densidad también varía dentro de un mismo estado de agregación al cambiar la presión: un objeto sometido a mayor presión tendrá mayor densidad debido a que el volumen del objeto disminuye. Normalmente, los cambios de presión y temperatura tienen mayor efecto sobre la densidad de los fluidos (líquidos y gases) que de los sólidos, ya que las distancias entre los átomos de los últimos son menores y las interacciones entre los mismos más fuertes. La densidad también depende del estado de agregación: en general disminuye al pasar de sólido a líquido y de líquido a gas (Napal, Echeverría, Zulet, Santos & Ibarra, 2017).

Como ya se ha mencionado, la densidad es un concepto fundamental. No obstante, son muchos los estudios que han dejado patentes las dificultades que tiene alumnado para adquirir la noción científica de la densidad. La complejidad para su comprensión se puede achacar, en gran medida, a la naturaleza abstracta del concepto. Los estudiantes que no han desarrollado todavía un modelo científico predictivo tienden a explicar la densidad y otras propiedades de la materia considerando la información sensorial y la representación mental que se hace de ella, es decir, explican estos conceptos desde las ideas implícitas. Estos estudiantes tienden a darle sentido a los fenómenos de la vida diaria basándose en ideas intuitivas sobre la naturaleza de la

materia, o sea, se guían por la manera en que aprecian el mundo a través de los sentidos. Sin embargo, las teorías científicas están organizadas alrededor de unos fundamentos muy diferentes para llegar a formar estas ideas y representaciones. Por lo tanto, es necesario modificar estos principios implícitos guiados por los sentidos con el fin de acercarse a modelos científicamente más aceptables. La formación proporcionada debe ser eficaz en este sentido o, de lo contrario, las “teorías implícitas” persistirán incluso después de la enseñanza (Napal, Echeverría, Zulet, Santos & Ibarra, 2017).

En cuanto a las ideas previas de los estudiantes respecto a la masa cabe señalar que, desde edades tempranas, los niños/as identifican diferencias en el peso percibido de los objetos, reconocen el peso como una propiedad del objeto. Los estudiantes usan los términos de masa, tamaño y volumen indiscriminadamente, indicando una idea no diferenciada de cantidad de material. Los estudiantes no reconocen necesariamente la masa como una propiedad de las partículas, ya que a menudo piensan que son demasiado pequeñas para tener masa. El objetivo para los estudiantes es reconocer que existen usos de la palabra “masa” en el día a día que son diferentes del significado científico. El alumnado debe desarrollar una comprensión por separado del volumen, la masa y el peso, entendiendo que cada uno es una medida diferente de cantidad. Distinguir entre masa y volumen es necesario para llegar a entender la densidad. Normalmente los estudiantes utilizan en un contexto científico la palabra “peso” cuando debería usar “masa”. Adoptar el uso adecuado del término “masa” implica que deben encontrar un nuevo significado para el término “peso”, que sería reconocer este último como una fuerza. Esta distinción entre masa y peso es importante en un contexto científico. Sin embargo, como la fuerza de la gravedad en la Tierra es constante dentro de las experiencias del alumnado y no tienen pruebas en las que el peso del objeto cambie, no tienen oportunidades para darse cuenta de la contribución que hace la gravedad al peso. Por tanto, no es fácil que distingan entre masa y peso. Por esto, los estudiantes necesitan frecuentes recordatorios del significado científico de estas palabras, especialmente desde que existen significados diferentes en la vida cotidiana. Entender esta diferencia entre masa y peso abre la vía para reconocer los materiales como distintos de las fuerzas. Los estudiantes con la visión de los materiales formados por partículas tienen que aplicar estas ideas de masa y peso a cada partícula. Esto implica aceptar que la masa y el peso de una cantidad dada de un material se deriva de la suma de las masas y pesos de todas las partículas que lo componen. Aunque es importante que los estudiantes no atribuyan otras propiedades del objeto como el color, la dureza o incluso la densidad a las partículas individuales (Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994).

Son varias las investigaciones que señalan que muchos estudiantes identifican la densidad con el peso, una idea intuitiva que ha sido bastante estudiada (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). El alumnado tiende a centrar su atención en una sola de las características de un material, ya sea el peso, el tamaño o la forma del objeto para inferir la densidad (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). Los estudiantes más jóvenes tienden a centrarse en el peso o en el tamaño, siendo incapaces de prestar atención a las dos ideas a la vez. Los estudiantes desarrollan la noción de “pesado para el tamaño” donde reconocen que un material tiene mayor “peso para el tamaño” que otro. Sin embargo, al principio esta idea no se distingue claramente de la idea del peso, así que “pesado” y “ligero” pueden ser usados para referirse a “denso” y “menos denso”. Para entender la densidad los estudiantes deben refinar la idea de pesadez, tomando en cuenta el volumen, como en la idea de “pesado para el tamaño”. Deben aceptar que un material tiene masa y volumen y unir esto con la idea de “pesado para el tamaño” (Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994). Este enfoque limitado también se encuentra en los estudiantes a la hora de explicar la flotabilidad, donde fijan normalmente su atención en el objeto que flota o se hunde, ignorando el líquido en el que se encuentra el objeto (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Además, en los líquidos existen otras propiedades específicas, como la viscosidad, que son utilizadas erróneamente para inferir la densidad. Los estudiantes, como se ha dicho anteriormente, se guían por percepciones sensoriales, describiendo a menudo un líquido como fino, grueso o flojo (Grotzer, Houghton y Basca, 2005) y utilizan estos atributos como indicadores de la densidad.

En ocasiones, los estudiantes explican las diferentes densidades de objetos con el mismo volumen y diferente masa como si uno de los objetos estuviera hueco o “relleno de aire”. Esta puede ser una posible explicación en el caso de que exista una densidad mixta. Sin embargo, con frecuencia los estudiantes no se percatan de la posibilidad de que el objeto pueda estar hecho de una sustancia con menor densidad (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Son pocos los estudiantes que aplican eficazmente un modelo de partículas para dar cuenta de las diferencias en densidad entre diferentes materiales. Algunos estudiantes piensan que existe aire entre las partículas de un material. Aunque la densidad es calculada por su masa y su volumen, este enfoque matemático no puede por sí solo generar un sentido de la densidad a través del cual los estudiantes puedan prever la estructura física de un material. Aparte de medidas y cálculos, los estudiantes necesitan muchas experiencias sobre la apariencia de distintos materiales y deben intentar imaginarse el interior de los materiales. Evocando usos coloquiales de la palabra “denso” (en contextos de niebla, tráfico, población...) se pueden

ofrecer analogías que pueden ayudar a los estudiantes a desarrollar un sentido de la densidad en términos de empaquetamiento, con el fin de complementar los cálculos matemáticos. Los estudiantes capaces de aplicar un modelo de partículas a los materiales son capaces de darse cuenta de materiales más o menos densos en relación con la masa y el empaquetamiento de las partículas. Como ya se ha mencionado, deben aceptar que las partículas tienen masa y que una partícula de un material tiene diferente masa que otra partícula de un material distinto. Sin embargo, la idea del empaquetamiento de las partículas y su contribución a la densidad puede presentar más dificultades. Deben tomar en cuenta el espacio entre partículas para reconocer que el empaquetamiento, al igual que la masa, afecta a la densidad. En este contexto, los modelos tridimensionales pueden servirnos de gran ayuda. (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Las diferencias en densidad se deben a varias causas macroscópicas y microscópicas. La densidad, como ya se ha dicho, está definida como la cantidad de materia en un espacio dado. La teoría atómica subyacente ofrece las claves sobre por qué existen diferencias en la densidad. Esta teoría juega un papel importante apoyando la idea general de cómo la densidad es dinámica y por qué se define de manera relacional. En cualquier caso dado, las causas que pueden contribuir a la densidad son: la masa atómica, la fuerza y estructura de los enlaces atómicos y moleculares y la densidad mixta (en el caso de que exista) (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). A continuación, se detallan estas posibles causas:

Hablar de la masa atómica implica hacer zoom a nivel microscópico para considerar la estructura atómica de la sustancia. Algunos átomos tienen más protones y neutrones que otros, lo que contribuye a aumentar la masa del material, ya que los protones y neutrones tienen significativamente más masa que los electrones. También da lugar a mayor número de “cosas” en el mismo espacio. El peso de un átomo depende del número de protones y neutrones que tenga, información que se puede encontrar en la tabla periódica. No obstante, no se puede comparar la densidad de diferentes elementos basándose únicamente en el número de protones y neutrones, ya que como hemos dicho la densidad tiene varias causas. Por ejemplo, la fuerza de los enlaces atómicos y la consecuente concentración de los átomos podrían compensar la masa de los átomos individuales (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Otra de las causas de las diferencias en densidad es la fuerza y la estructura de los enlaces atómicos y moleculares, que también implica hacer zoom a nivel microscópico: tiene que ver con cómo están unidos los átomos a otros átomos (del mismo tipo o de otro) para crear moléculas de sustancias puras o compuestos. También tiene influencia en la densidad la manera en que esas moléculas están unidas entre sí. En algunos casos, como en los metales, las

moléculas están unidas muy próximas unas de otras. En otros casos están unidas holgadamente y existe más espacio entre ellas, con el resultado de encontrar menos átomos en un cierto espacio. Con enlaces más fuertes los átomos están más apretados, por lo que existirán más átomos por unidad de espacio. Por tanto, lo que influye en la densidad son las consecuencias de la fuerza de los enlaces; los enlaces por sí mismos no contribuyen a la masa porque no son materia, son atracciones eléctricas. También hay diferencias en densidad provocadas por cómo están estructurados los enlaces. En un sólido los enlaces que forman la estructura cristalina contribuyen significativamente a la densidad. Respecto a los fluidos hay diferencias de espacio entre los enlaces de diferentes líquidos, y en los gases la variable más importante que afecta a la densidad es cómo de separados están los átomos o las moléculas. El impacto en la densidad debido a la masa atómica y a la fuerza y estructura de los enlaces atómicos y moleculares se ve superado por cómo de separados están los átomos y moléculas debido a la presión y la temperatura (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Otra causa que afecta a la densidad es la existencia de una densidad mixta. El ejemplo más claro y sencillo es con gases (como moléculas de agua en forma de vapor) cuando se esparcen en una habitación y existen entre ellas muchas “moléculas de aire”. La densidad del aire en la habitación será en este caso una mezcla. Otros ejemplos de densidad mixta pueden ser una esponja o una rebanada de pan de molde con agujeros en ellos. El estado de las moléculas influye sobre cómo están esparcidas y sobre si otros tipos de átomos o moléculas encajan entre ellas. Por ejemplo, el estireno es un líquido denso, pero puede ser transformado en poliestireno de manera que incrementa su volumen y contiene aire en los espacios (sería un caso de densidad mixta). Hay que tener en cuenta que existen casos donde las moléculas o átomos están más separados, pero no debido a la densidad mixta. En vez de aire entre las moléculas puede haber espacio vacío. La estructura de las moléculas también afecta a cómo están esparcidas: las moléculas de muchos polímeros son largas y rizadas, por lo que cuando se juntan existen espacios entre ellas (con vacío, gases o líquidos en ellos) (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Existen razones de sentido cognitivo o de percepción para que los estudiantes se focalicen en el peso del objeto ignorando su densidad, o para que pongan su atención en el objeto que flota o se hunde obviando el rol del líquido en el que se encuentre (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). A continuación, se exponen estas razones:

La primera razón es que la causalidad de la densidad no es obvia. La densidad es una propiedad intrínseca que no se puede ver o medir directamente. Debe ser inferida manteniendo constante la masa o el volumen y evaluando las implicaciones de la otra variable. Esto es algo

que normalmente provoca grandes dificultades en los estudiantes. (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). Generalmente, las experiencias del día a día no nos ofrecen la oportunidad para mantener constante el volumen o la masa, provocando que sea obvia la existencia de la densidad. Sin embargo, el peso o el tamaño del objeto pueden ser percibidos a través de los sentidos, atrayendo la atención de los estudiantes y haciendo poco probable que miren más allá de estas características para inferir la existencia de la densidad. Para desarrollar nociones independientes de peso y densidad, es preciso que los estudiantes razonen sobre causas no obvias. La relación entre peso y densidad no es obvia en cuanto a percepción. Solo se convierte en obvia en los casos en los que la predicción basada en el peso difiere de lo que se puede predecir basado en la densidad. Los estudiantes tienen varias experiencias de este tipo que les guían a desarrollar algún sentido intuitivo sobre la densidad. (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). Por ejemplo, hay objetos sólidos con el mismo tamaño pero diferente peso y objetos muy grandes pueden pesar mucho menos que objetos más pequeños. De esta forma, el estudiante se puede dar cuenta de que los objetos están hechos de diferentes materiales, desarrollando un sentido intuitivo de que existen clases de materiales más pesados y más ligeros. Estas nociones intuitivas pueden ser de ayuda en algunos aspectos, pero pueden actuar como limitantes en otros, ya que promueven una focalización en el objeto que puede resultar problemática en casos más complejos de aplicación de la densidad, como puede ser la flotabilidad (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

La segunda razón, de tipo cognitivo, es la comprensión de la causalidad relacional. Comprender la densidad implica comprender la causalidad relacional. La densidad se define como la masa de una sustancia por unidad de volumen ocupado. Es la relación entre la masa de una unidad del material en cuestión y el volumen que ocupa dicha unidad. Ni la masa ni el volumen por separado son suficientes para definir la densidad. Los estudiantes tienen que razonar sobre esta relación entre masa y volumen y entender que, si esta relación cambia, la densidad cambia. Algo parecido ocurre en la comprensión de la flotabilidad: los estudiantes deben razonar sobre la relación entre las densidades involucradas, ya sean un objeto y un fluido o dos fluidos. Este tipo de causalidad relacional implica conocer que el efecto (flotar o hundirse) es causado por la relación entre los elementos del sistema. Ningún elemento es la causa por sí mismo. Para inducir un razonamiento sobre causalidad relacional es necesario apartarse de formas de causalidad lineal y unidireccional, donde un objeto actúa como agente causal de otro, afectando al resultado únicamente en una dirección, como una ficha de dominó golpeando a otra ficha (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). Los estudios sugieren que normalmente los estudiantes adoptan modelos causa-efecto lineales y unidireccionales cuando analizan

fenómenos científicos, algo que se hace evidente desde la infancia (Anderson, 1986). A menudo, las causas son percibidas como dentro de entes, condición sobre causalidad que puede llevar a modelos estáticos lineales y basados en entes sobre la densidad, lo que genera abundantes problemas de percepción y confusiones. Utilizando estos modelos los estudiantes pueden pensar que la densidad dentro de un sistema cerrado no cambia (por ejemplo, en un termómetro de alcohol) o no se dan cuenta de que la densidad de materiales en diferentes estados de la materia cambia (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Estas tendencias problemáticas de los estudiantes se agravan con algunas prácticas de enseñanza. Por ejemplo, es habitual enseñar densidades específicas para varios materiales sin dejar claro que esta densidad puede cambiar. Un énfasis excesivo en el tipo de material sin la noción de que la densidad es dinámica puede crear una contradicción evidente. Los estudiantes tienen que aceptar el concepto de densidad como una propiedad del tipo de material en condiciones estables, con la idea de que esta densidad del mismo material es una característica potencialmente dinámica cuando condiciones como presión y/o temperatura cambian (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

También es frecuente clasificar algunos objetos para decir que flotan o se hunden sin hacer ninguna referencia al líquido. Una actividad común en los años de primaria es hacer una lista de objetos que flotan y otra de objetos que se hundan, cosa que olvida el hecho de que muchos de los objetos se hundirán en algunos líquidos y flotarán en otros. De esta forma se apoya un modelo lineal y estático que contribuye a unos cuantos problemas para los estudiantes posteriormente, como pueden ser la comprensión de las corrientes oceánicas, la composición de la atmósfera... Tratar de razonar sobre la flotabilidad con modelos de causalidad lineal y basados en los objetos lleva a los estudiantes a ver el fluido que los rodea como si jugase un papel pasivo. Solo en contextos drásticos, como colocar un objeto en un líquido muy denso, el rol del líquido se convierte en suficientemente obvio para desafiar el modelo lineal que equipara el objeto con la causa (Grotzer, Houghton y Basca, 2005). Desde una perspectiva del desarrollo se puede asegurar que el alumnado de secundaria está en buena situación para aprender acerca de la causalidad relacional. Sin embargo, no significa que estudiantes más jóvenes no puedan comenzar a trabajar estos conceptos. Por tanto, cuando se enseña a alumnado más joven, tampoco es buena idea insistir en modelos causales simples, poco adecuados para conceptos científicos (Grotzer, Houghton y Basca, 2005).

Para llegar a conocer las ideas de los estudiantes sobre cualquier aspecto hay que tener en cuenta que las ideas son personales. Cuando los estudiantes realizan un experimento, cada uno

lo ha visto e interpretado a su modo. Nuestra conducta es semejante: podemos modificar o no nuestro punto de vista al leer un texto o argumentar con otra persona. La medida en que modifiquemos nuestra forma de pensar depende tanto de nuestras ideas de partida como de lo escrito o dicho. Esta forma personal de interpretar los fenómenos también se encuentra a la hora de generarse el conocimiento científico. Las observaciones de los hechos están influidas por las estructuras teóricas del observador. Por tanto, también en los estudiantes las observaciones están influenciadas por sus ideas y expectativas (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985). Sin embargo, ese carácter personal de las ideas no significa que no puedan ser compartidas por muchas personas. De hecho, en la historia de la ciencia ha habido ocasiones en las que diferentes científicos han desarrollado y utilizado independientemente la misma estructura teórica. Por ello, estudiantes de diferentes países y sistemas educativos pueden tener las mismas ideas o hacer idénticas interpretaciones de hechos semejantes. Estas ideas personales son estables incluso después de la enseñanza de una cuestión, es decir, las ideas pueden permanecer a pesar de presentarles pruebas en contra de estas. Los estudiantes pueden ignorar estas pruebas o interpretarlas de acuerdo con sus ideas previas. Estas interpretaciones y concepciones son a menudo contradictorias, pero no por ello son menos estables. Las nociones previas de los estudiantes influyen sobre el proceso de aprendizaje de formas diversas. Lo que los estudiantes son capaces de aprender depende de estas ideas previas y del contexto de aprendizaje en que se encuentren. El modo de asimilación de un nuevo elemento de información depende tanto de la naturaleza de la información como de la estructura o esquema mental del estudiante. Por tanto, la misma experiencia puede ser asimilada de forma muy distinta por cada estudiante. Al aprender ciencias, un alumno/a puede darse cuenta de que un hecho se opone a sus expectativas, es decir, no se ajusta a sus esquemas. No obstante, esta comprobación no implica necesariamente la reestructuración de sus ideas. Esta reorganización de sus ideas requiere tiempo y circunstancias favorables, que pasan por proporcionar al alumnado una amplia muestra de experiencias relacionadas con ciertas ideas clave. Por consiguiente, es importante comprender las ideas previas de los estudiantes para poder adaptar mejor la enseñanza. Esta adaptación puede darse de diferentes maneras. Por ejemplo, mediante la elección de los conceptos a enseñar: algunos conceptos se consideran obvios y se dan por sabidos, pero el estudio de las ideas de los estudiantes sugiere que nociones aparentemente sencillas pueden no ser comprendidas, lo que puede llevar a serios problemas de aprendizaje posteriormente. Otra forma de adaptar la enseñanza es la elección de experiencias de aprendizaje: conociendo las ideas previas de los estudiantes se puede poner en práctica experiencias que entren en conflicto con sus expectativas, provocando una reconsideración por parte del alumnado. Pero esto no es suficiente, es necesario promover otras alternativas que

puedan ser consideradas por los estudiantes no solamente como necesarias, sino también como razonables y plausibles. Además, conociendo estas ideas previas, podemos rechazar algunos de los experimentos clásicos que no serían interpretados por el alumnado en el sentido deseado. Respecto a la adaptación de la enseñanza, también hay que presentar la finalidad de las actividades, formulando claramente los objetivos de las tareas de aprendizaje con el fin de evitar que el alumnado pueda reinterpretar las intenciones del profesor a su modo, incorporando la experiencia a un esquema diferente del que se pretendía (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985).

Como se ha mencionado, es importante tener en cuenta las ideas de los alumnos/as, pero no es fácil ponerlo en práctica, ya que se puede considerar poco realista prestar atención a las diferentes nociones de cada estudiante de forma individual. Sin embargo, se ha visto que, aunque los conceptos que emplea el alumnado para interpretar los fenómenos son diferentes, existen algunas pautas generales en los tipos de ideas que tienden a utilizar los estudiantes de diversas edades. Se han realizado estudios en diferentes partes del mundo con niños/as que poseen diferentes experiencias de enseñanza formal en ciencias. Los estudios, independientes entre sí, muestran que los niños/as mantienen pautas de ideas semejantes. Los estudios recogen variedad de ideas que puede tener el alumnado, pero puede ser de gran utilidad tener en cuenta las tendencias generales del pensamiento con el fin de planificar las actividades de aprendizaje y mejorar la comunicación interna de la clase. Con todo lo anterior se pone de manifiesto una perspectiva particular de aprendizaje, donde se considera que éste se produce en la interacción entre las experiencias del aprendiz y las ideas o esquemas mentales utilizados para dar sentido a esas experiencias (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985).

En el presente trabajo se intenta conocer las ideas de los estudiantes sobre la materia y la densidad a través de sus dibujos y su posterior explicación en forma de texto. El dibujo es tanto un medio de comunicación como una herramienta para solucionar problemas. Los estudiantes, a través del dibujo, no solo son capaces de expresar lo que están pensando, sino que también son capaces de argumentar y transformar sus ideas. Además, los dibujos pueden ilustrar malentendidos o lagunas en el conocimiento de los niños/as. Dibujar está entre los primeros intentos de los niños/as para abstraerse y usar un sistema de símbolos. La facilidad de abstracción y el sistema de símbolos son esenciales para la alfabetización en ciencias, matemáticas, tecnologías de la información, lectura y escritura. La habilidad para visualizar ideas, conceptos y problemas puede ayudar a los estudiantes a situarse en niveles más altos de pensamiento. Cuando los niños/as son capaces de trabajar a nivel conceptual, son capaces de ir más allá de una simple definición memorística y relacionar conceptos. Dibujar juega un papel vital en el cambio desde los conceptos cotidianos hacia conceptos más científicos (Brooks, 2009).

El contexto sociocultural e histórico, junto con el diálogo mantenido con los niños/as sobre sus dibujos, son importantes para interpretar el dibujo y el pensamiento que hay detrás. Sin embargo, no se tienen estrategias para apoyar el proceso del dibujo, en el cual los niños/as encuentran dificultades como en cualquier otra actividad (Brooks, 2009).

Los modelos científicos para niños/as tienden a confiar en representaciones que unen conceptos a objetos en un nivel básico. Raramente los niños/as tienen oportunidades para trabajar a un nivel metacognitivo en el que puedan ser capaces de trasladarse tanto desde conceptos a objetos como entre conceptos. El lenguaje y la comprensión científica en edades tempranas se queda a menudo en un nivel memorístico, sin las experiencias necesarias. No es suficiente tener etiquetas para los objetos para llegar a solucionar problemas, también es necesaria la habilidad de manejar estas etiquetas en diferentes contextos, lo que permitirá conexiones que llevan a pensamientos de orden superior. Poseer una palabra para un concepto es diferente de haber tenido esa experiencia, es decir, hay diferencia entre saber algo y experimentarlo (Brooks, 2009).

Llegar a comprender el significado de los dibujos de los niños/as ayuda a entender la relación entre sus dibujos y sus pensamientos. Esto también se puede extender a pensamientos científicos, con el fin de conseguir una comprensión más profunda sobre los tipos de procesos mentales que utilizan los niños para darle sentido al mundo en que viven. Existen evidencias que relacionan el pensamiento, el dibujo y la visualización, que resultan claras a través del estudio de los procesos de creación de significados. La palabra visualización se usa como confluencia de los términos “percepción visual” e “imaginación visual”. Cuando un niño/a es capaz de crear representaciones visuales de sus ideas, entonces es más capaz de trabajar a un nivel metacognitivo (Brooks, 2009).

El dibujo puede contribuir a la formulación del pensamiento y de los significados. En la figura 1, sacada de la teoría de Vygotski, se puede ver la posible conexión entre el pensamiento, el dibujo y el desarrollo del pensamiento visual. (Brooks, 2009).

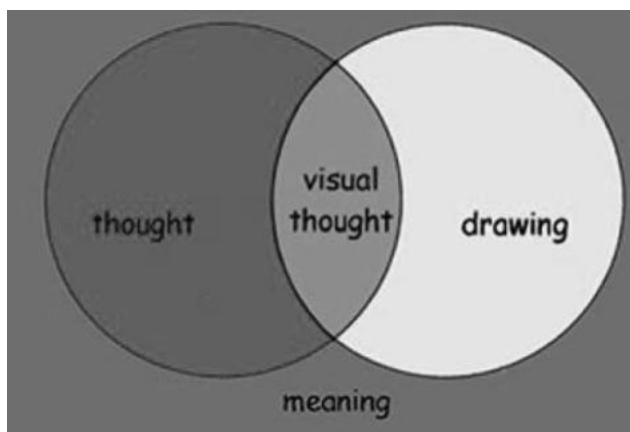


Figura 1: Pensamiento visual (Brooks, 2009)

Cuando se estudia el todo, es decir, el dibujo, el pensamiento y el significado dentro del contexto sociocultural e histórico del proceso del dibujo, entonces podemos ser capaces de ver cómo los niños usan el dibujo como una herramienta para crear significados. (Brooks, 2009).

Una imagen es vista como un todo simultáneamente, mientras que un texto tiene un orden más lineal y temporal. En muchas ocasiones, un texto hay que transformarlo en imágenes para darle significado a medida que se lee. El poder del dibujo es que tiene una simultaneidad que representa de manera más detallada el pensamiento. Además, el dibujo permite interactuar a nivel intrapersonal e interpersonal, así como recontextualizar la imagen, volverla a ver o actualizarla (Brooks, 2009).

La manera de ofrecer apoyo para los procesos del dibujo de los niños/as en su contexto de aprendizaje diario es crear un buen clima de trabajo en clase, con respeto mutuo y apoyando las ideas emergentes. Es importante que los profesores/as valoren los dibujos de los niños/as por la información e ideas que contienen, más que por ser una réplica de la realidad. Ver el dibujo como herramienta de creación de significados ayuda a los profesores/as a ver el dibujo como parte del proceso de aprendizaje, más que como un producto indicativo de un estado de desarrollo más rígido. Cuando las habilidades involucradas para dibujar se convierten en un obstáculo para el niño a la hora de expresar un significado, entonces los docentes pueden trabajar con el niño/a para clarificar el significado, teniendo en cuenta que costará varios dibujos alcanzar el nivel deseado de comprensión. Hay que animar a los niños/as a que vuelvan a ver sus dibujos, a que los recontextualicen y a que los actualicen. Los niños/as necesitan ser incentivados para elaborar y modificar sus dibujos e incluso volver a dibujarlos. Cuando los niños/as son capaces de transportar sus dibujos de un contexto a otro son capaces por sí mismos

de ver cómo los conceptos pueden ser transferidos. Es importante dedicar el tiempo y espacio a los niños/as para hablar y analizar sus dibujos. (Brooks, 2009).

En definitiva, con el dibujo los niños/as pueden hacer visibles sus ideas. Dibujar puede ayudar a los niños/as en la exploración de sus ideas y preguntas del mundo que les rodea. Cuando el dibujo es un modo de diálogo en la clase, entonces los dibujos pueden ser guardados como registro del pensamiento del niño/a, que puede ser analizado y vuelto a ver tanto por los niños/as como por el docente. Los dibujos proporcionan percepciones valiosas del pensamiento científico de los niños/as, así como registros del crecimiento y desarrollo cognitivo del niño. El proceso del dibujo implica muchos pasos y posiblemente hagan falta muchos dibujos en la búsqueda de una idea, lo que ofrece posibilidades a los niños/as para usar el dibujo de diferentes formas y en distintos contextos. Las cualidades del dibujo residen en la producción y divergencia de posibilidades generadas. Además, otra fortaleza del dibujo es su capacidad para reflejar inmediatamente las ideas de la persona que dibuja. Los niños/as son capaces de representar ideas complejas en sus dibujos, siendo también capaces de absorber ideas de los contextos donde trabajan y asimilar y transformar nuevas ideas a través de sus dibujos. Sin embargo, el tiempo y la oportunidad de los niños/as para perseguir la complejidad en sus dibujos deben ser parte del proceso de enseñanza-aprendizaje. Dibujar puede ayudar a las interacciones y competencias de los niños/as con visualizaciones espaciales, interpretaciones, orientaciones y relaciones. Cuando son capaces de crear representaciones visuales de sus ideas son más capaces de trabajar a nivel metacognitivo. El marco teórico de Vygotski ayuda a percibir el dibujo más allá de la recreación o decoración; ayuda a entender cómo el significado y la comprensión pueden ser facilitados a través del dibujo, que juega un papel significativo en el crecimiento y desarrollo del pensamiento de los niños/as y la educación (Brooks, 2009).

2. OBJETIVOS

- Analizar la competencia del alumnado para estimar la masa, el volumen y la densidad en los pares de objetos que se les proporciona y que pueden manipular.
- Estudiar las estrategias que tiene el alumnado para representar la materia y la densidad.
- Comprobar que las interpretaciones realizadas de los dibujos y su clasificación en diferentes modelos coincide con lo que el alumnado quiere transmitir en cada caso, es decir, se pretende validar la interpretación que se hace de las categorías, tanto de la materia como de la densidad.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se realizó un cuestionario, previamente puesto en práctica en otro estudio de investigación de la UPNA (Napal et al, 2018). El cuestionario citado es más extenso, pero en el presente trabajo se utilizaron las preguntas referidas a una comparación de volumen, masa y densidad entre cuatro pares de objetos (Anexo 1).

En el cuestionario se pedía a los estudiantes que comparasen los pares de objetos para determinar cuál tenía más volumen, cuál mayor masa y cuál era el que poseía mayor densidad. En la figura 2 se puede observar un ejemplo de cómo se preguntaban estas cuestiones.

Barra aluminio y cobre del mismo tamaño		
¿Mayor volumen?		
¿Mayor masa?		
¿Mayor densidad?		

Figura 2: ejemplo de cómo se pregunta por la comparación de volumen, masa y densidad en las parejas de objetos

De la misma manera, se pedía al alumnado que dibujase o representase cómo se imaginaba cada objeto a nivel microscópico. El cuestionario está diseñado para averiguar la comprensión cualitativa que los estudiantes tienen de la densidad. Las preguntas tratan aspectos básicos como la estimación de la masa y el volumen para, posteriormente, estimar la densidad. Dentro de las cuatro comparaciones existían casos simples y otros más complejos que incluían factores como la forma o el material (Napal et al, 2018). Además, con los dibujos que los estudiantes hagan de los objetos a nivel microscópico, se pretende categorizar tanto la representación de la materia como las estrategias utilizadas para representar la densidad.

El cuestionario fue realizado a 43 alumnos/as de un centro público situado en Pamplona: 17 alumnos/as pertenecían a 4º de la E.S.O. del itinerario de matemáticas aplicadas, 13 alumnos/as de 4º de la E.S.O. del itinerario de matemáticas académicas y 13 alumnos/as de 2º de Bachillerato de la modalidad de ciencias de la salud. Para el presente estudio, y con la finalidad de aumentar la muestra, se incluyeron datos recogidos por una profesora en un centro de Barcelona durante el mismo curso. El alumnado de Barcelona aporta un total de 30 muestras distribuidas de la siguiente forma: 12 alumnos/as de 4º de la E.S.O., 11 alumnos/as de 1º de Bachillerato y 7 alumnos/as de 2º de Bachillerato. En la tabla 1 se puede ver un resumen de la muestra analizada.

Tabla 1: Resumen de la muestra analizada

Centro	Curso	nº alumnos/as	Abreviatura
Pamplona (público)	4º E.S.O. (aplicadas)	17	P4C
Pamplona (público)	4º E.S.O. (académicas)	13	P4A
Pamplona (público)	2º Bachillerato (ciencias de la salud)	13	P2BACH
Barcelona	4º E.S.O.	12	BCN4
Barcelona	1º Bachillerato	11	BCN1BACH
Barcelona	2º Bachillerato	7	BCN2BACH

Los estudiantes incluidos en la muestra han recibido una enseñanza ajustada al currículo marcado por la ley LOMCE. En el centro de Pamplona los alumnos/as no recibieron ninguna enseñanza específica y los investigadores no intervinieron en la docencia relativa a la materia y la densidad.

El cuestionario se presentó con un kit de material individual, que incluía los diferentes objetos a los que hacían referencia las cuestiones (figura 3). Los objetos que componen el kit son: 3 cilindros de aluminio de diferentes alturas, un cilindro de cobre, un cilindro de nylon, un cilindro de PVC y un cubo de aluminio. Previamente a iniciar el cuestionario, se aclararon los componentes que formaban el kit, destacando el material del que estaba hecho cada uno. De esta manera, se evitaron confusiones sobre la pareja de materiales que debían comparar en cada caso. En la tabla 2 se pueden ver las dimensiones, la masa, el volumen y la densidad (calculada con la fórmula matemática) de los objetos que componen el kit.

Tabla 2: Dimensiones, volumen, masa y densidad de los objetos que componen el kit de material individual

Objeto	Dimensiones		Masa (g)	Volumen (cm3)	Densidad (g/cm3)
	Diámetro (mm)	Altura (mm)			
Cilindro Al pequeño	12	30	9,3	3,39	2,7
Cilindro Al mediano	12	40	12,1	4,52	2,7
Cilindro Al mayor	12	80	24,3	9,05	2,7
Cilindro Cu	12	40	40,3	4,52	8,9
Cilindro nylon	12	70	9,7*	7,92	1,2
Cilindro PVC	12	55	9,2*	6,22	1,5
	Lado (mm)				
Cubo Al	30		75,1	27	2,8

*La masa del PVC y la del nylon no coinciden totalmente, aunque la diferencia es mínima y en el enunciado de la pregunta que se presenta al alumnado está claramente expuesto que las masas de ambos cilindros son iguales.



Figura 3: Objetos de los que se compone el kit de material individual

Con el fin de facilitar el análisis de los resultados las preguntas fueron reorganizadas en ítems discretos, que posibilitan describir una evolución de más a menos en función de la información sensorial que proporcionan (tabla 3).

Tabla 3: Información sensorial para cada pareja de objetos: evolución de mayor a menor información sensorial

Pareja de objetos	Pregunta	Material	Tamaño	Forma	Input sensorial
Cilindros Al-Cu	1	diferente	igual	igual	Material pesado (matP)
Cilindros nylon-PVC	3	diferente	diferente	igual	Material ligero (matL)
Cilindros Al	2	igual	diferente	igual	Tamaño pesado (TamP)
Cilindro Al- Cubo Al	4	igual	igual (altura)	diferente	Forma (F)

Las estrategias que utiliza el alumnado para representar la materia son varias. En este trabajo, siguiendo el método utilizado en el citado estudio de la UPNA, se clasifican las estrategias para representar la materia de la siguiente forma (Napal, Echeverría e Ibarra, 2018):

1. Modelo de tramas: cuando el alumno/a representa el objeto a nivel microscópico como una serie de líneas, ya sean en una sola dirección o en varias.
2. Modelo embedded: el alumno/a representa los objetos a nivel microscópico como una conjunción de tramas y partículas al mismo tiempo.
3. Partículas continuas: cuando el alumno/a representa el objeto a nivel microscópico como partículas sin espacio entre ellas.

4. Partículas discontinuas: el alumno/a representa los objetos a nivel microscópico como partículas espaciadas entre ellas.
5. Corpuscular: cuando el alumno/a, al representar los objetos a nivel microscópico, dibuja átomos o moléculas haciendo referencia de alguna forma a las fuerzas de cohesión.
6. Redes: el alumno/a representa los objetos a nivel microscópico con modelos de orbitales.

Esta clasificación de los modelos de representar la materia está organizada de manera que se observa un gradiente de menor a mayor evolución del modelo utilizado. En la figura 4 se puede observar un ejemplo de cada modelo utilizado para representar la materia.

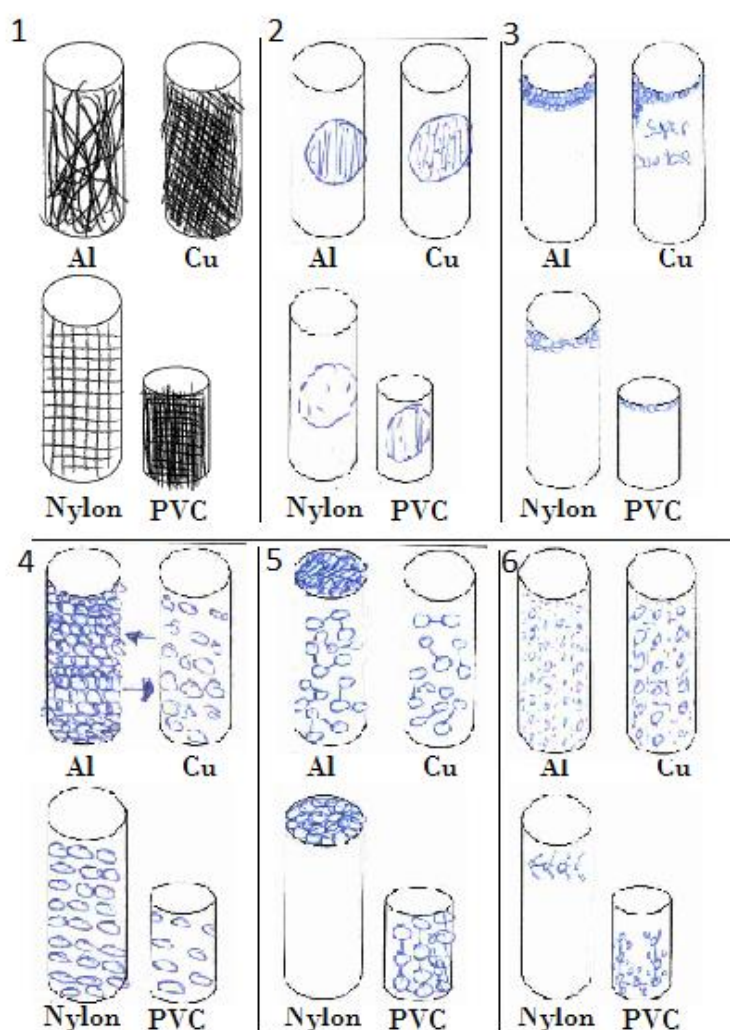


Figura 4: clasificación de las formas de representar la materia

Dado que existen materiales con diferentes densidades y también pares de objetos del mismo material con distinto tamaño o forma, se pueden interpretar los dibujos con el fin de comprobar las estrategias del alumnado para representar la densidad. Los modelos que se han

tenido en cuenta a la hora de representar la densidad son los siguientes (Napal, Echeverría e Ibarra, 2018):

1. Modelo extensivo: se interpreta esta estrategia en aquellos casos en los que el material más denso se dibuja con un mayor volumen ocupado por partículas o tramas.
2. Modelo micro: se clasifican en este modelo aquellas representaciones en las que las partículas de diferentes materiales se dibujan con un color (oscuras o claras) o tamaño distinto.
3. Modelo empaquetamiento: esta estrategia se interpreta en las representaciones en las que las partículas del material más denso están más juntas unas de otras.

En la figura 5 se pueden visualizar las estrategias tenidas en cuenta para la representación de la densidad.

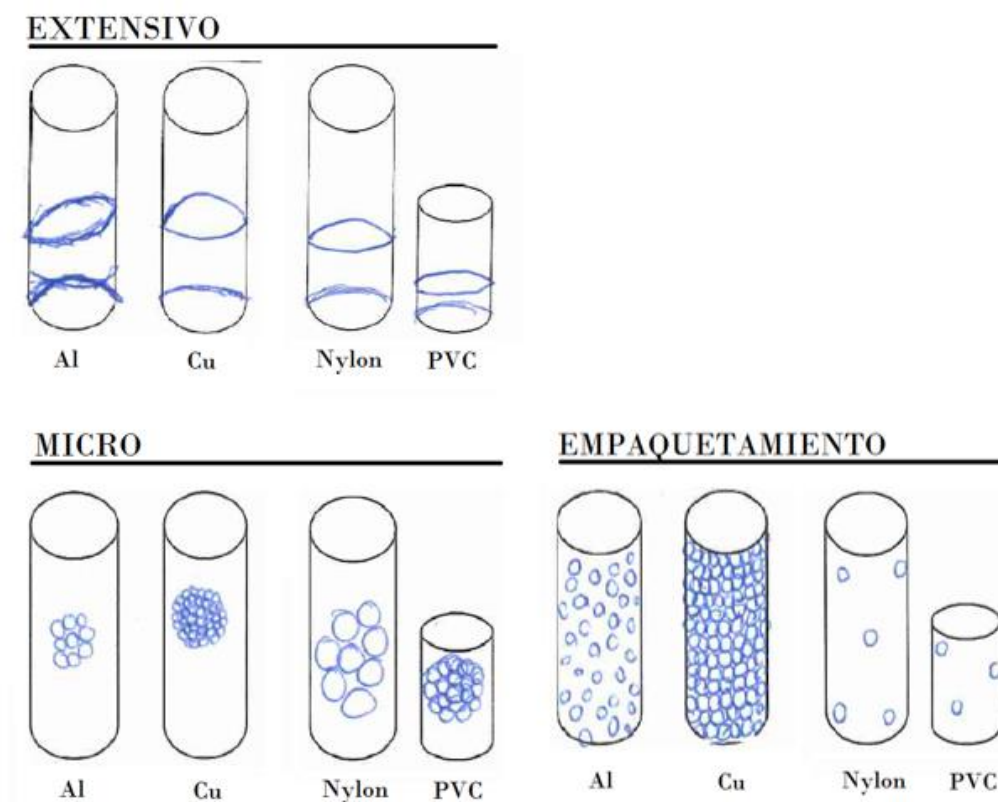


Figura 5: Estrategias para representar la densidad

Una vez hecho el análisis y la interpretación de los dibujos con el fin de clasificarlos en modelos de representar la materia y la densidad, se volvió a entrevistar individualmente a aquellos estudiantes que presentaban modelos de representación de materia o densidad que interesaba contrastar, con el fin de asegurar que las interpretaciones realizadas de sus dibujos coincidían con lo que querían expresar. La entrevista se hizo en forma de texto y se preguntaba

sobre algún aspecto de los dibujos que habían elaborado, intentando dilucidar el modelo de materia o densidad que realmente habían querido representar. De esta manera, se intenta confirmar la validez de la interpretación realizada, corrigiendo los posibles errores de atribución de modelos que pudieran darse. En la tabla 4 se expone algún ejemplo de las preguntas realizadas según el modelo para representar la materia utilizado.

Tabla 4: Ejemplo de preguntas según el modelo utilizado para representar la materia

REPRESENTACIÓN DE LA MATERIA	
MODELO	PREGUNTA
Tramas	Cuando son tramas cuadriculadas, aclarar si cada una de las celdillas es una unidad o son realmente tramas
Embedded	¿Por qué dibujan partículas y tramas a la vez?
Partículas discontinuas	¿Qué hay entre las partículas?
Dibujan solo las tapas	¿Qué quieren representar?

En la tabla 5 se pueden observar alguna de las preguntas realizadas según el modelo utilizado para representar la densidad.

Tabla 5: Ejemplos de preguntas según el modelo utilizado para representar la densidad

REPRESENTACIÓN DE LA DENSIDAD	
MODELO	PREGUNTA
Extensivo	¿Por qué dibujan una parte llena y la otra vacía? ¿Qué hay en cada una de las partes? ¿Significa que solo una parte está llena de materia?
Micro	¿Qué han querido representar? ¿Por qué unas partículas son más oscuras o más pequeñas?
Empaquetamiento	¿Quieren meter más partículas y, por tanto, quedan más juntas? ¿O han querido meter más y, por tanto, han tenido que juntarlas más? Si las partículas más empaquetadas parecen más pequeñas que las de su pareja: ¿Han querido dibujarlas más pequeñas o es un "efecto óptico" del mayor empaquetamiento?

4. RESULTADOS

Estimación del volumen, la masa y la densidad en parejas de objetos

En las comparaciones de los diferentes objetos el volumen es la propiedad cuantitativa que posee mayor porcentaje de aciertos. La estimación del volumen está por encima del 70 % de aciertos en todos los cursos ($94,35 \pm 8,67 \%$) (figura 6). No hay diferencias a la hora de estimar el volumen de los diferentes pares de objetos, es decir, la diferente información sensorial que proporcionan los pares de objetos no provoca diferencias a la hora de estimar el volumen. El alumnado identifica correctamente las diferencias en volumen de los pares de objetos que varían en el material, la forma o el tamaño.

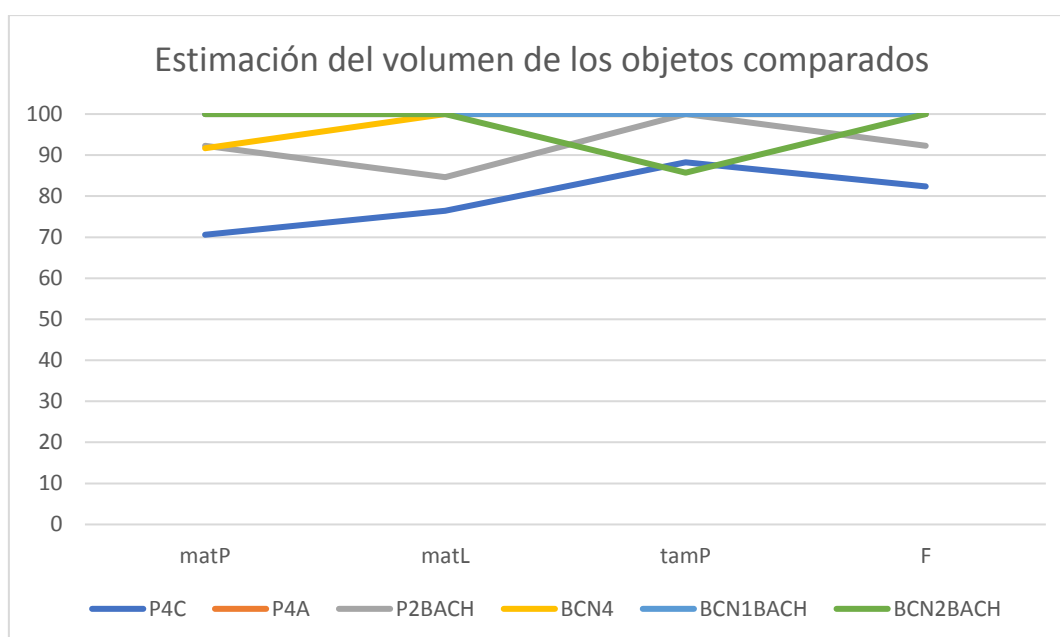


Figura 6: Estimación del volumen de los objetos comparados

La siguiente propiedad que más aciertos obtiene al estimarse comparativamente es la masa, con un $86,45 \pm 18,76 \%$ de acierto (figura 7). El porcentaje de aciertos fue significativamente más bajo en la pareja de objetos formada por el cilindro de nylon y el cilindro de PVC ($X\text{-squared} = 39.773$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0,01$). Aunque el enunciado expresaba claramente que los dos cilindros tenían la misma masa, son varios los alumnos/as que atribuyen mayor masa a uno de los dos cilindros.

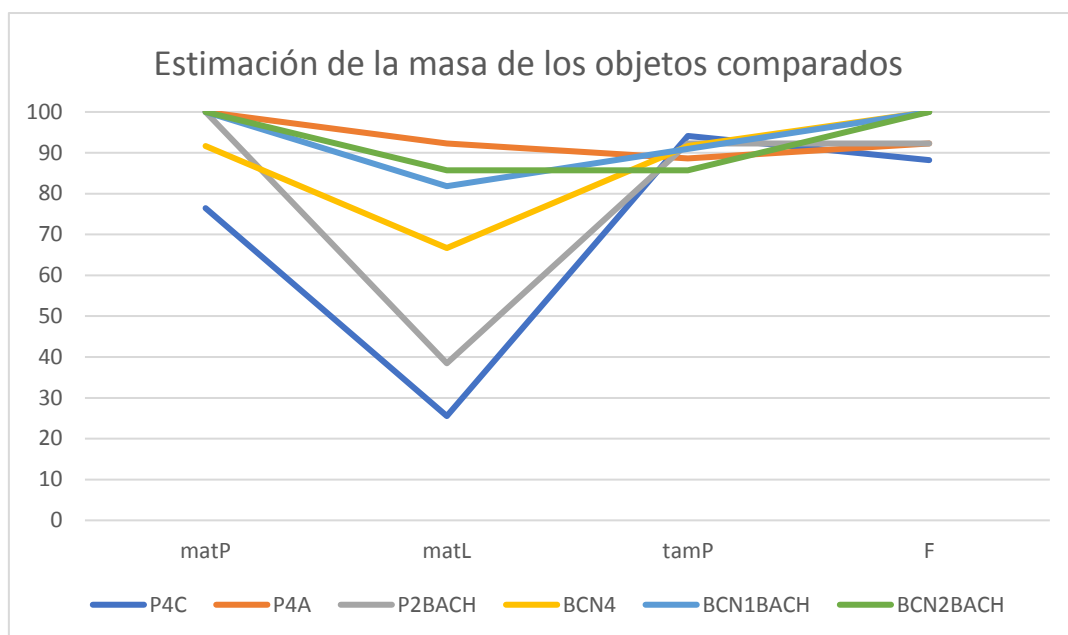


Figura 7: Estimación de la masa de los objetos comparados

La estimación de la densidad al comparar los pares de objetos tiene un porcentaje de aciertos de $63,36 \pm 26,68\%$ (figura 8). En las parejas de objetos, la densidad se estima significativamente peor que el volumen y la masa ($K=46.795$, $df= 2$, $p\text{-value} < 0,01$). La pareja de objetos cuya densidad se estimó mejor fueron los cilindros de cobre y de aluminio: el porcentaje de aciertos del curso que peor estimó la densidad en esta cuestión fue del 47 %, siendo del 100% el porcentaje de aciertos en varios de los grupos. Los cilindros de cobre y aluminio son iguales en forma y volumen, siendo la masa la propiedad que difiere al sopesar ambos objetos. Teniendo el mismo volumen y siendo el objeto más pesado, en general el alumnado identificó correctamente el cilindro de cobre como el más denso.

La estimación de la densidad de los cilindros de nylon y PVC obtuvo menor porcentaje de aciertos con respecto a la anterior, variando desde un 35 % hasta un 100 % en uno de los grupos. En este caso ambos objetos poseían la misma masa, cambiando únicamente el volumen de estos. Los errores al estimar la densidad de esta pareja de objetos se deben a que algunos estudiantes atribuían mayor densidad al nylon o igual densidad a los dos cilindros.

En la pareja de objetos compuesta por dos cilindros de aluminio de diferente altura la estimación de la densidad obtiene un porcentaje de aciertos aún menor, desde un 12 % en el peor de los casos hasta un 82 % en el grupo que mejor estimó la densidad de esta pareja de objetos. En esta cuestión se percibe claramente una diferencia de masas, siendo también notable la diferencia en volumen. Son varios los estudiantes que adjudican erróneamente una

densidad mayor al cilindro de mayor masa y volumen, pero también son varios los estudiantes que proponen equivocadamente que es el cilindro pequeño el que tiene mayor densidad.

El peor porcentaje de aciertos se encuentra en los estudiantes al comparar la densidad de un cilindro y un cubo de aluminio de la misma altura. El porcentaje de aciertos se sitúa entre el 12 % y el 71 %. En este caso la mayoría de los fallos se produjeron al adjudicar erróneamente mayor densidad al objeto de mayor masa y volumen (cubo de aluminio), aunque fueran del mismo material.

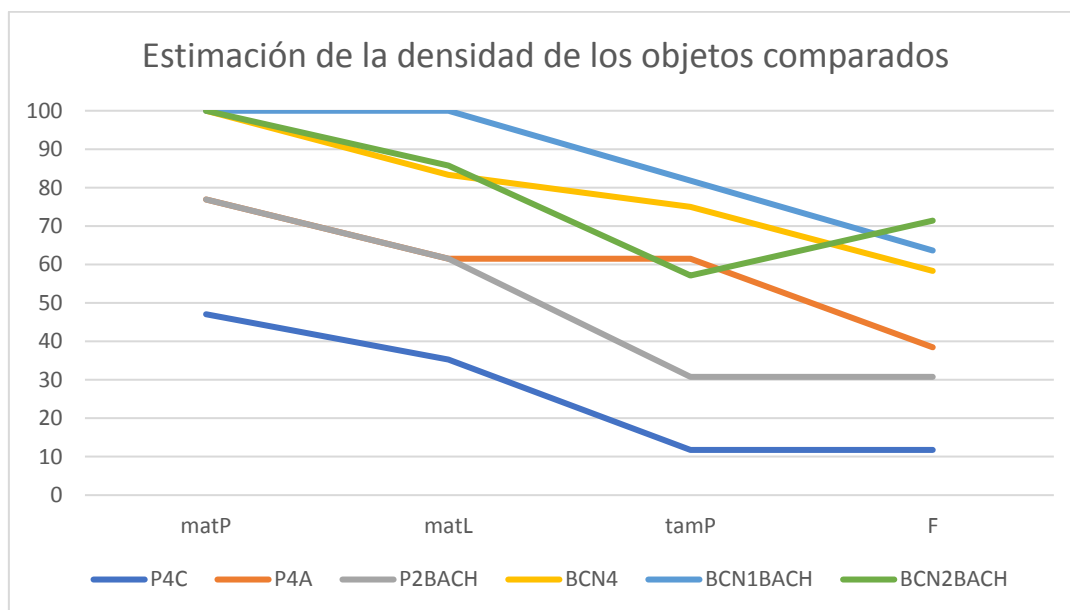


Figura 8: Estimación de la densidad de los objetos comparados

Para predecir la densidad de las parejas de objetos del mismo material el alumnado utiliza diferentes estrategias. Existe un porcentaje de alumnado que utiliza la siguiente estrategia: a mayor volumen, mayor masa y mayor densidad (simbolizada como “+v +m +d”). Esta estrategia sigue un criterio extensivo, donde una mayor densidad es inferida por una mayor cantidad de masa. Sin embargo, existe también un porcentaje de alumnado que utiliza la estrategia contraria para predecir la densidad de objetos del mismo material: a menor volumen, menor masa y menor densidad (simbolizada como “-v -m +d”). Los estudiantes que siguen esta última estrategia se estarían guiando por un criterio de empaquetamiento, infiriendo la densidad según la concentración de materia, pero sin percatarse de que se trata del mismo material. En la figura 9 se puede observar las estrategias utilizadas por el alumnado de los distintos grupos para estimar la densidad en la pareja de objetos formada por los dos cilindros de aluminio de diferente altura.

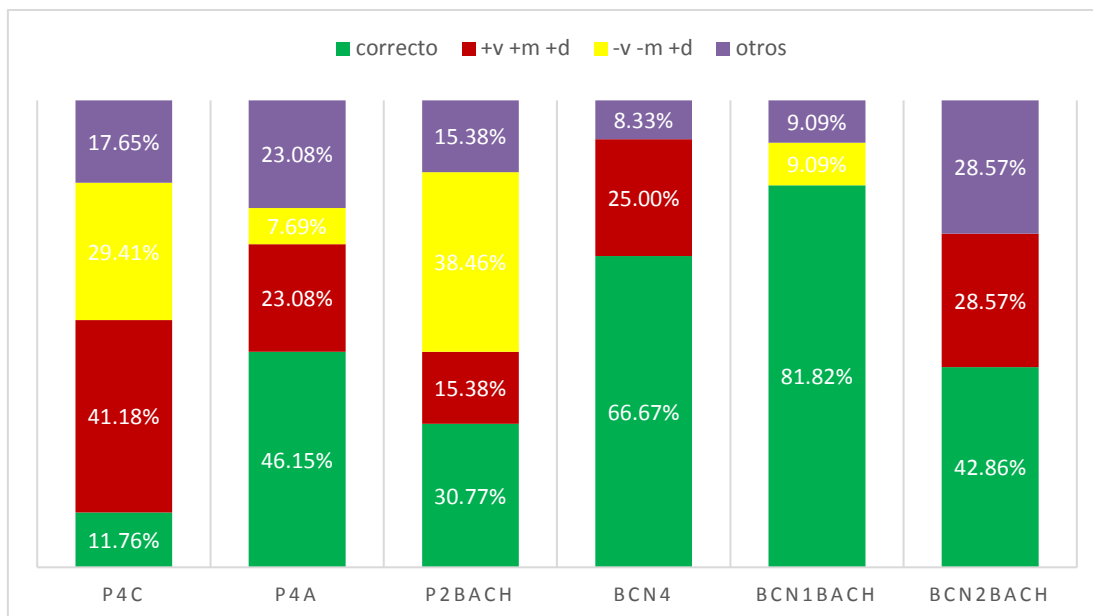


Figura 9: Estrategias para predecir la densidad en la pareja de cilindros de aluminio de diferente altura

Comparando objetos del mismo material se puede observar que parte del alumnado adjudica erróneamente más densidad al objeto con mayor volumen y mayor masa. Esto concuerda con la bibliografía revisada, que decía que el alumnado tiende a focalizar su atención en el peso e infería la densidad según este atributo. Sin embargo, llama la atención la estrategia equivocada que utiliza el alumnado en la que se confiere mayor densidad al objeto más pequeño y con menor masa. Como se puede observar en la figura 9, el alumnado que utiliza esta última estrategia pertenece mayoritariamente al centro situado en Pamplona. Un caso que utiliza esta estrategia señala que “el más pequeño tiene mayor densidad porque está todo más compacto”, obviando que se trata del mismo material y que únicamente cambia el tamaño del objeto.

En la figura 9 llama mucho la atención los resultados del alumnado de 2º de Bachillerato de ambos centros. En Pamplona utilizan erróneamente como estrategia predominante la que atribuye mayor densidad al objeto más pequeño y con menos masa. En el centro de Barcelona, el alumnado de dicho curso tiene un porcentaje de aciertos en esta cuestión que baja notablemente respecto a los de 1º de Bachillerato e incluso respecto a 4º de la E.S.O.

Estas estrategias utilizadas erróneamente por el alumnado para predecir la densidad también se pueden observar en la pareja de objetos formada por un cilindro y un cubo de aluminio (figura 10). En este caso también es el centro de Pamplona el que cuenta con alumnos/as que siguen la estrategia errónea de atribuir mayor densidad al objeto más pequeño y con menos masa. También aparece de manera general en todos los cursos la estrategia equivocada que confiere mayor densidad al objeto con mayor volumen y mayor masa.

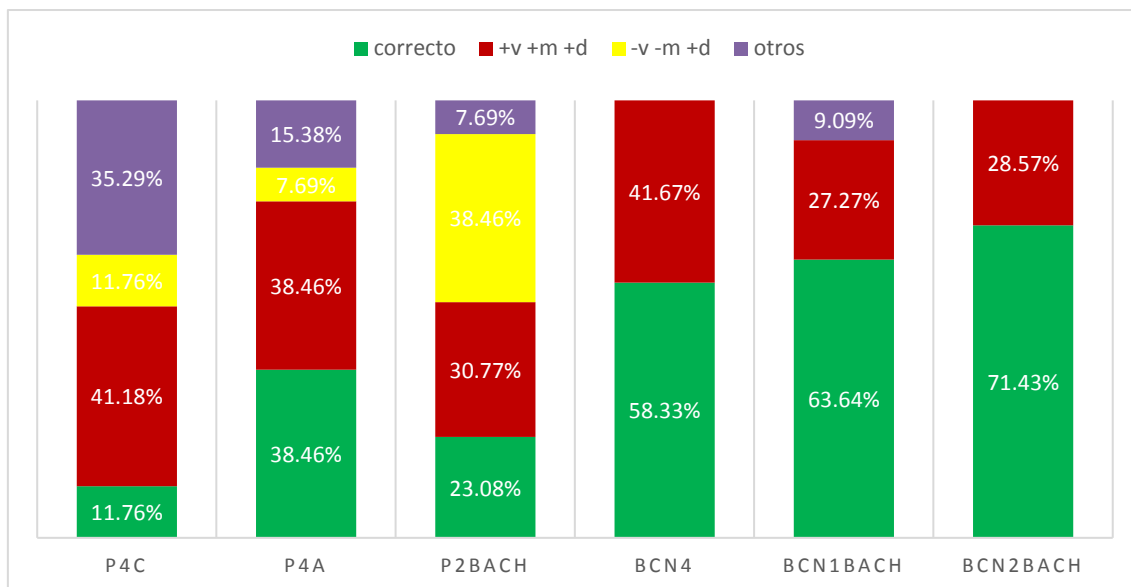


Figura 10: Estrategias para predecir la densidad en la pareja de objetos formada por un cilindro y un cubo de aluminio

Representación de la materia

En la figura 11 se puede observar un gráfico que resume las estrategias utilizadas para representar la materia de los diferentes grupos. Como se puede ver en el gráfico, los grupos de 2º de Bachillerato tienen más estrategias para la representación de la materia. Llama la atención el 4º de la E.S.O. del centro de Barcelona, ya que utiliza mayoritariamente el modelo de redes para representar la materia. Sin embargo, en ese mismo centro, el porcentaje de alumnos de 1º y 2º de Bachillerato que utilizan la estrategia de redes caen bruscamente.

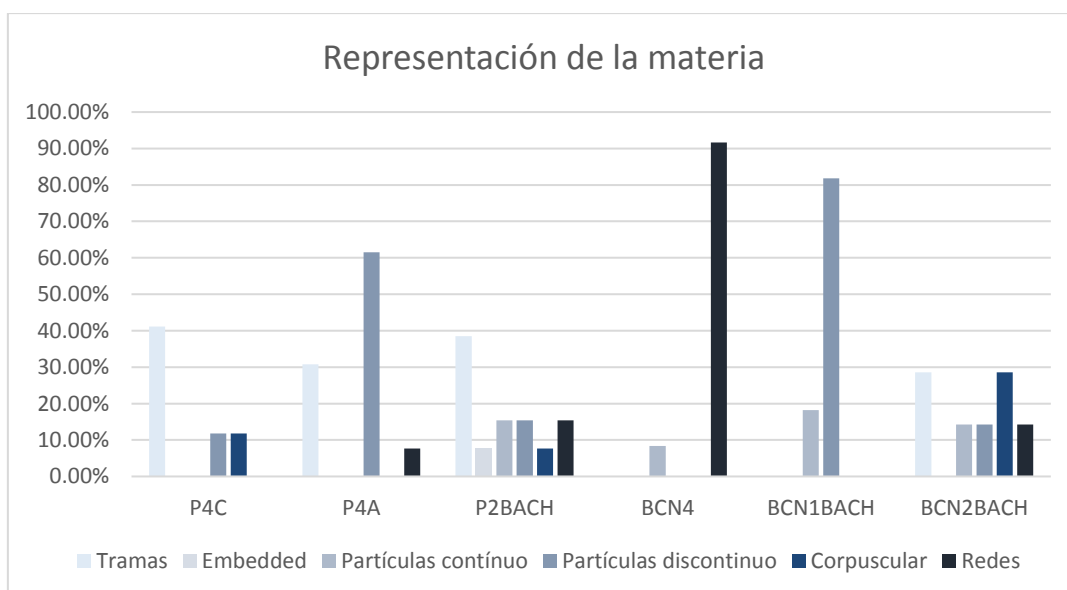


Figura 11: Estrategias para la representación de la materia por grupos

Representación de la densidad

La figura 12 muestra las estrategias utilizadas por el alumnado para representar la densidad. Los modelos mencionados anteriormente no son excluyentes entre sí, es decir, hay estudiantes que combinan dos de ellos, representado por medio de la intersección de círculos.

Hay que señalar que lo más correcto científicamente para representar la densidad sería una estrategia que combine un modelo micro con un modelo de empaquetamiento. La densidad es una propiedad intensiva, es decir, no depende de la cantidad de materia, por lo que el modelo extensivo para representar la densidad no es correcto.

Se puede observar que 36 alumnos/as recurren al modelo de empaquetamiento para representar la densidad, 2 estudiantes utilizan un modelo extensivo y 9 se refieren al modelo micro (figura 5). Algunos estudiantes utilizan únicamente una estrategia para representar la densidad, pero también existen alumnos/as que combinan dos estrategias. La mayor parte de los estudiantes que utilizan dos estrategias lo hacen combinando un modelo micro con un modelo de empaquetamiento (6 estudiantes). No hay ningún alumno/a que utilice las tres estrategias combinadas.

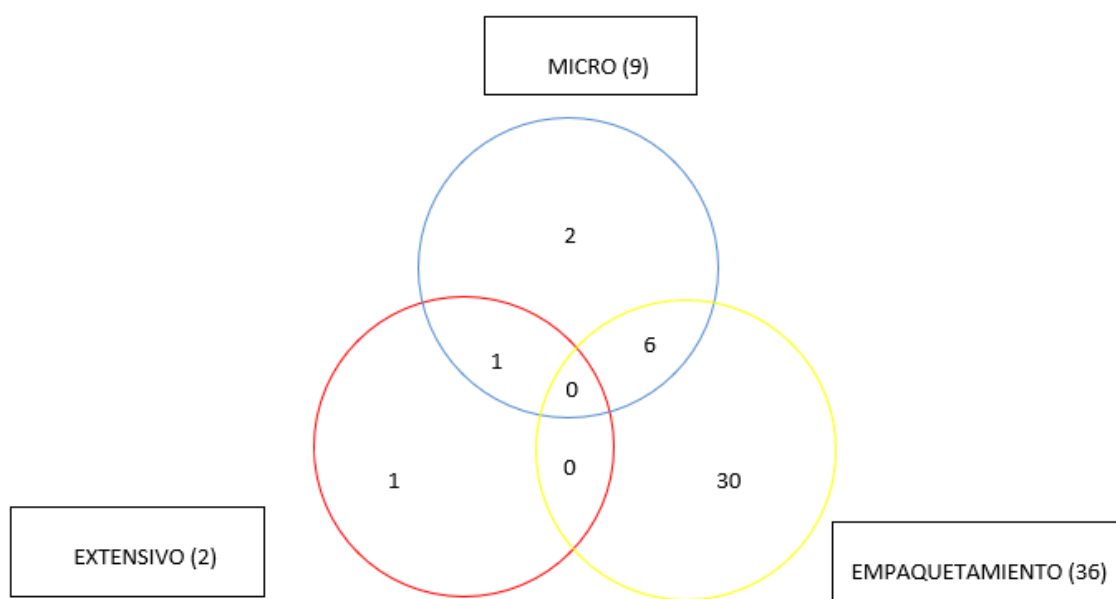


Figura 12: Recuento de estudiantes que utiliza modelos para representar la densidad (interpretado según dibujos)

Análisis de los modelos de representación según los dibujos y las entrevistas en texto

Aquellos estudiantes clasificados en un modelo de tramas a la hora de representar la densidad fueron cuestionados acerca del significado de esas “rayas” en sus dibujos. A continuación, se presentan algunas de sus respuestas:

“Son como capas, ya que yo pienso que todos los materiales las tienen” (P4A).

“Los objetos vistos de cerca parecía que tenían rayas, a veces en diferente orden. En el nylon veía pequeños puntos y lo representé así en el dibujo” (P4A). La siguiente imagen (figura 13) corresponde a los dibujos realizados por esta alumna.

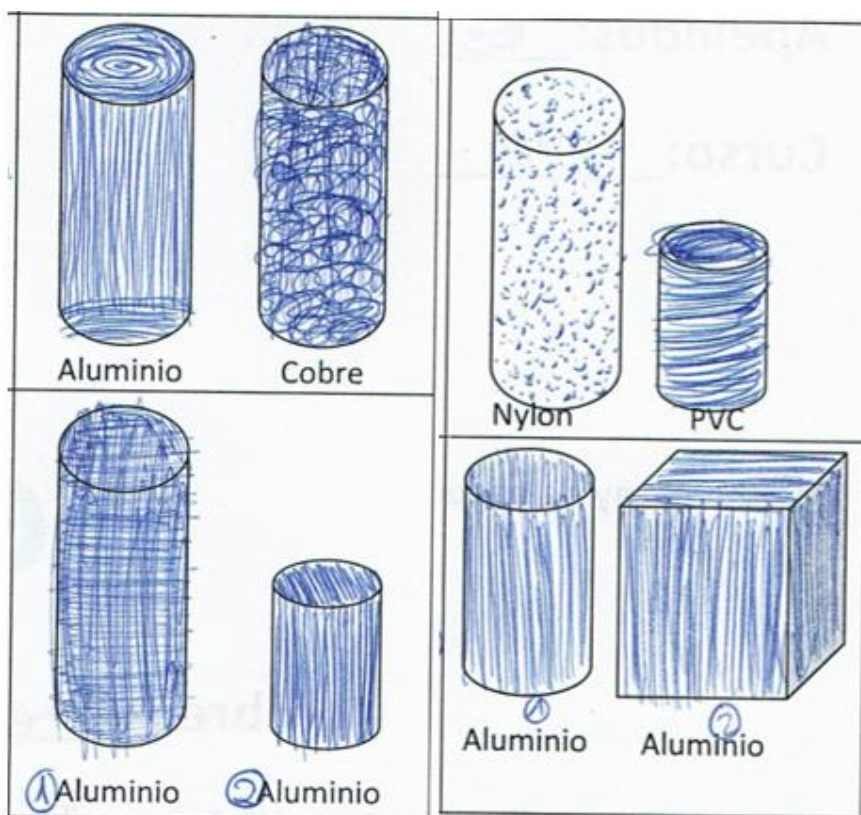


Figura 13: Dibujos de una estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona

Los estudiantes que representan la materia con tramas son incapaces de abstraerse y transferir sus conocimientos de la materia a objetos reales. Analizando sus dibujos y sus explicaciones, se observa que lo que dibujan, en muchas ocasiones, hace referencia a lo que perciben del objeto. Son varios alumnos/as los que dibujan el material según las rayas provocadas por el mecanizado de los objetos, dejando patente que sus dibujos sobre la estructura interna (micro) dependen de lo que perciben sensorialmente del objeto (macro).

En algunas representaciones de los estudiantes se observaba que únicamente dibujaban sobre las tapas de los objetos (ya sean tramas o partículas), como en el caso de la figura 14. Se preguntó si tenía algún significado, obteniendo repuestas como las siguientes:

“Porque es la parte en la que más se ven las marcas y la forma de las rayas. En los lados eran solo de un color o se distinguen menos”. (P4A)

“Solo he dibujado en la tapa para una muestra. En realidad, las partículas se encuentran en toda la figura”. La figura 14 corresponde a esta alumna (P4A).

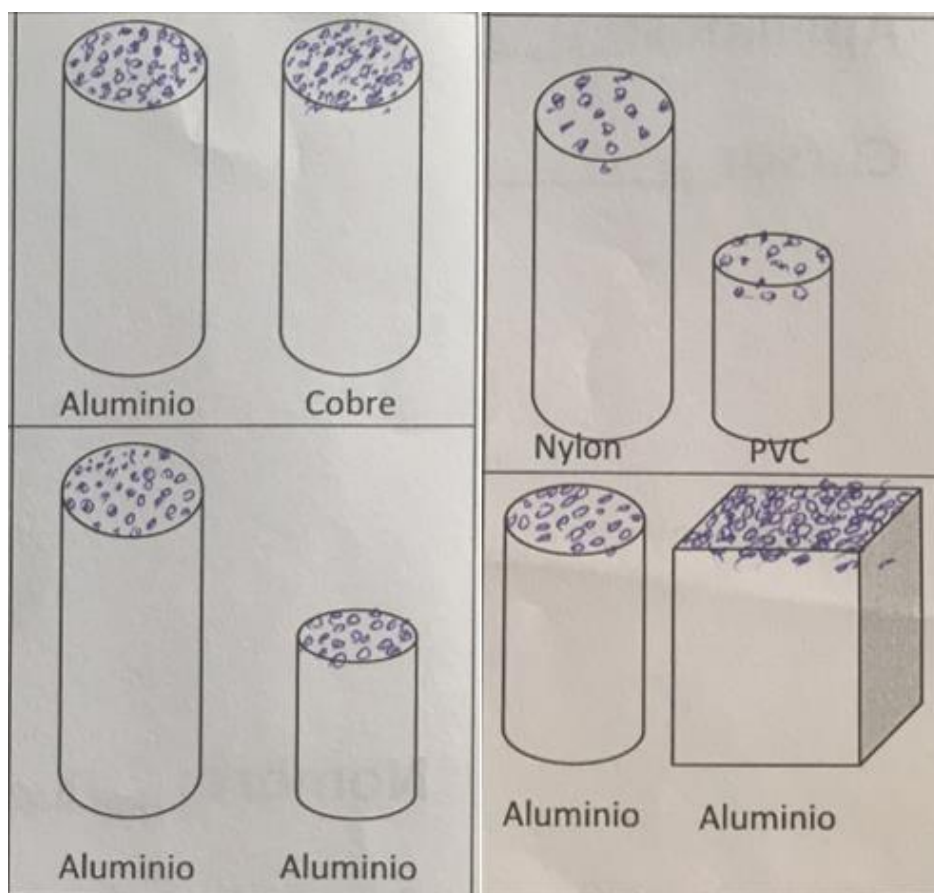


Figura 14: Dibujos de una estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona

A los estudiantes que representaron la materia con partículas discontinuas se les hizo la siguiente pregunta: ¿qué hay entre las partículas que has dibujado? Aquí se pueden ver alguna de las respuestas obtenidas:

“Enlaces de los átomos” (P4A).

“En la mayoría espacio vacío” (P4A).

“Hay palos que hacen que se unan las moléculas” (P4A).

“Es un espacio vacío, no hay materia entre las partículas” (P4A).

“Hay un espacio que les permite moverse. Cuanto mayor sea el espacio, mayor será la movilidad” (BCN1BACH).

“Hay enlaces que, dependiendo del material, varían (son más fuertes o más débiles). La fuerza de los enlaces también depende del estado físico de estos. Los enlaces son invisibles” (BCN1BACH).

“Existe un espacio donde está el aire” (BCN1BACH).

“Está la fuerza que las une, pero no se puede ver” (BCN1BACH).

“No hay materia, el 90% del espacio que nos imaginemos de un átomo es vacío. Una fuerza no tiene materia, pero un material si puede hacer fuerza” (BCN1BACH).

“Hay aire comprimido” (BCN1BACH).

La mayoría de los estudiantes aciertan al señalar que el espacio entre partículas es vacío (16 alumnos/as). Algunos estudiantes se refieren a que en ese espacio existen enlaces o uniones, sin especificar que no existe materia en ellos. Únicamente tres alumnos/as indican que en el espacio entre las partículas que han dibujado hay aire.

A continuación, se exponen varios ejemplos de modelos interpretados según los dibujos y su correspondencia con las palabras en forma de texto de cada alumno/a:

-Modelo de empaquetamiento para representar la densidad:

Según los dibujos de la figura 15 (estudiante de 1º de Bachillerato del centro de Barcelona), se ha interpretado un modelo de empaquetamiento para representar la densidad. El autor se expresa de la siguiente manera: "he dibujado los átomos de cobre mucho más juntos que los de aluminio, representando que un mayor número de partículas en un volumen específico poseerá una mayor densidad".

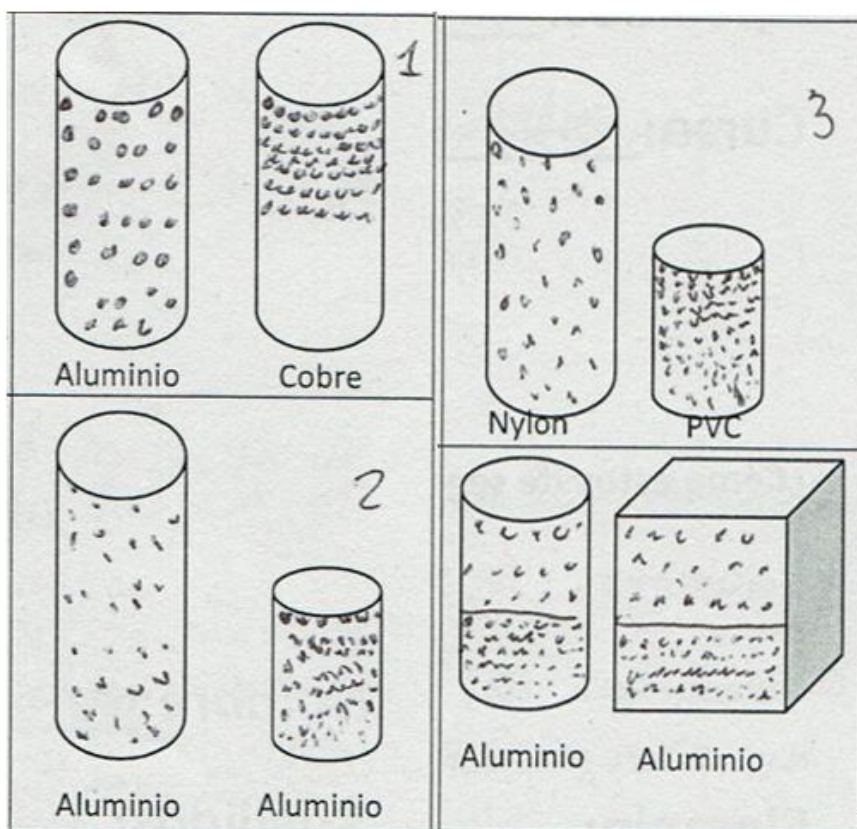


Figura 15: Dibujos de un estudiante de 1º de Bachillerato de Barcelona

En la figura 16 se pueden ver los dibujos de una estudiante de 1º de Bachillerato del centro de Barcelona, según los cuales se ha interpretado un modelo de empaquetamiento para la representación de la densidad. La estudiante explica en palabras que "el cobre tiene más partículas y, al tener el mismo volumen que el aluminio, las tiene más juntas (más densidad)". También señala que "todas las bolitas son del mismo tamaño".

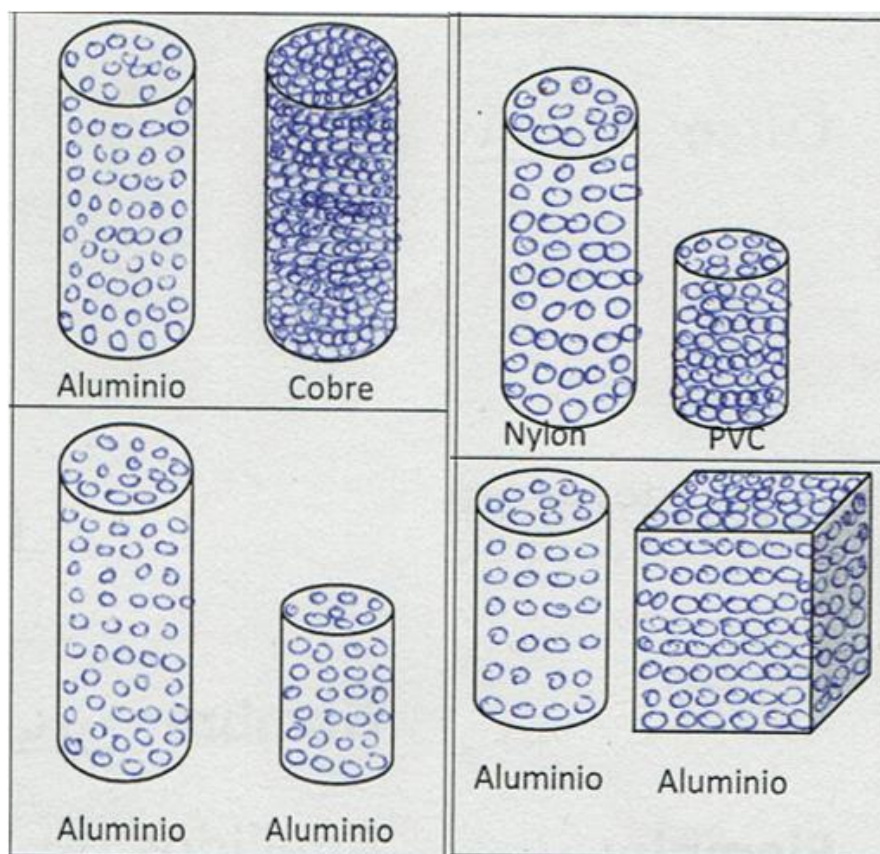


Figura 16: Dibujos de un estudiante de 1º de Bachillerato de Barcelona

Según los dibujos de la figura 17 (estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona), se interpretó un modelo de empaquetamiento como estrategia para representar la densidad. En los dibujos hace referencia a que todos los objetos de aluminio tienen la misma composición, remitiéndose al primer dibujo en los casos en los que aparecía un objeto de aluminio. Las palabras que utiliza el alumno para explicarse son las siguientes: "las bolitas son una manera de representar lo juntos que están los átomos de ese material".

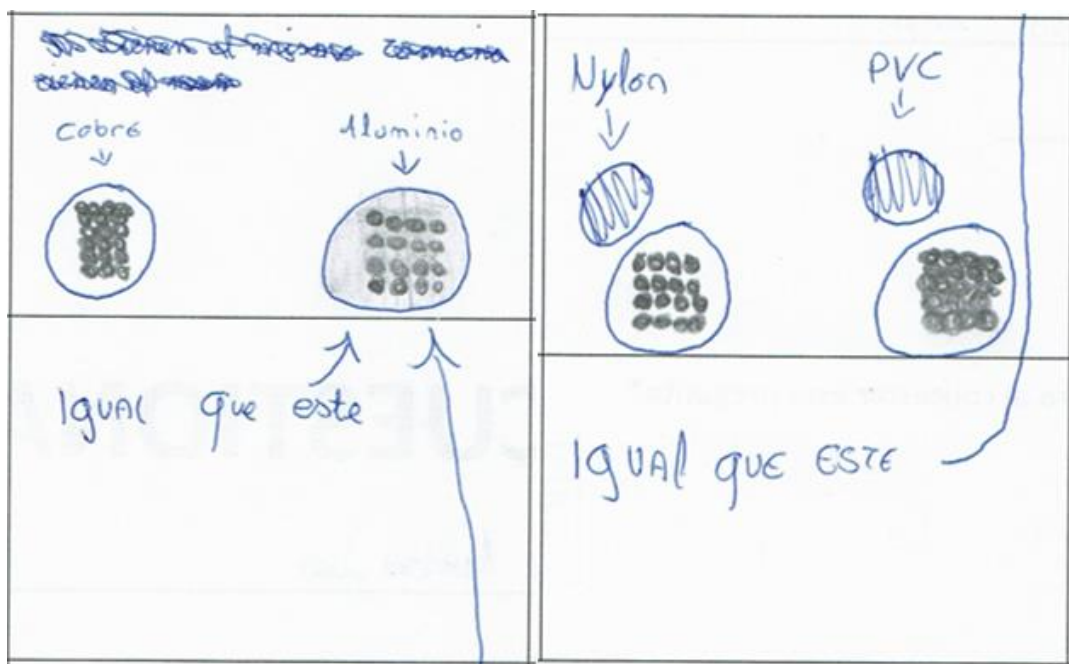


Figura 17: Dibujos de un estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona

La figura 18 muestra los dibujos hechos por una estudiante de 2º de Bachillerato del centro de Barcelona, de los que se ha interpretado una estrategia combinada de empaquetamiento y micro para representar la densidad. Las palabras de la estudiante señalan la estrategia micro: "el cobre y el aluminio presentan la misma estructura interna: un conjunto de nucleones (protones y neutrones) que tienen masa y una nube de electrones envolviéndolos (cuya masa es despreciable). Se diferencia por la masa de los nucleones, por eso uno es más denso que otro". Sobre los cilindros de nylon y PVC se explicaba: su estructura es la misma, están formados por un conjunto de átomos unidos por enlaces. Se diferencian en que la barra de PVC tiene unos átomos con más masa respecto al nylon". La estudiante, en su explicación en texto, no parece estar pensando en un modelo de empaquetamiento para representar la densidad.

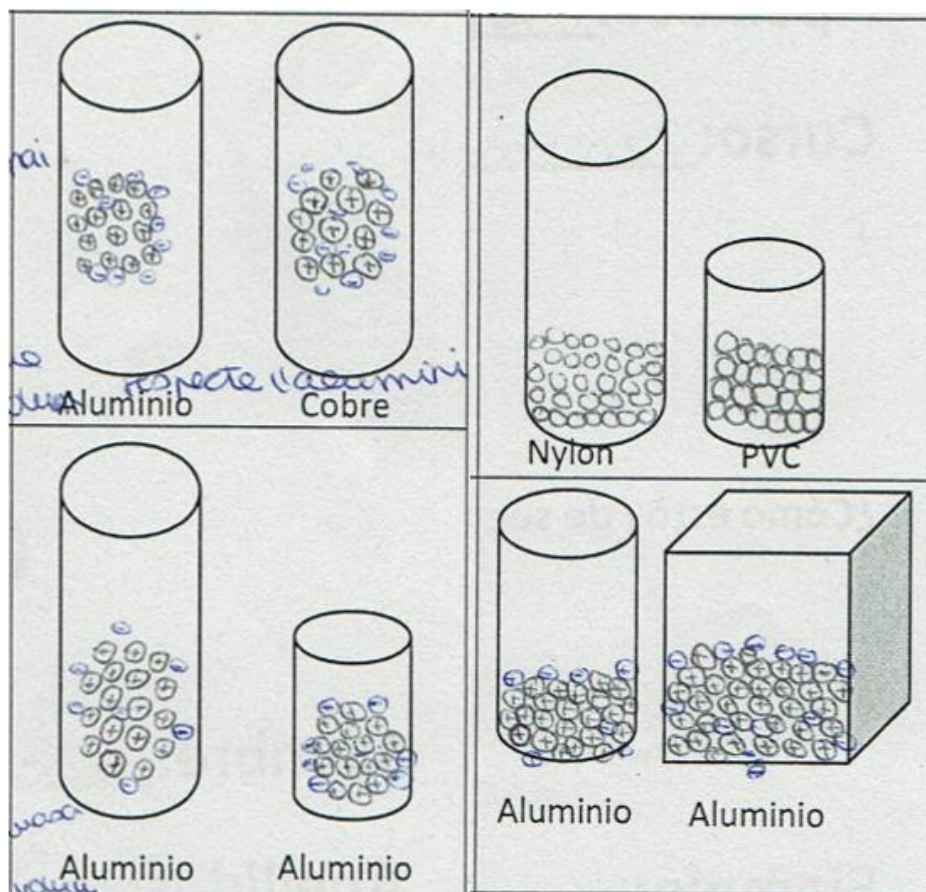


Figura 18: Dibujos de una estudiante de 2º de Bachillerato de Barcelona

En la figura 19 se observan los dibujos de un estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona, según los cuales se han interpretado un modelo de empaquetamiento para representar la densidad. La explicación en forma de texto del estudiante es la siguiente: "Las bolitas son las moléculas que forman los materiales. No son todas las bolitas iguales, en algunos casos hay más, están más juntas, tienen diferente tamaño, etc." Por consiguiente, el modelo interpretado coincide, aunque las palabras del estudiante señalan que está pensando también en un modelo micro, que no se aprecia en los dibujos.

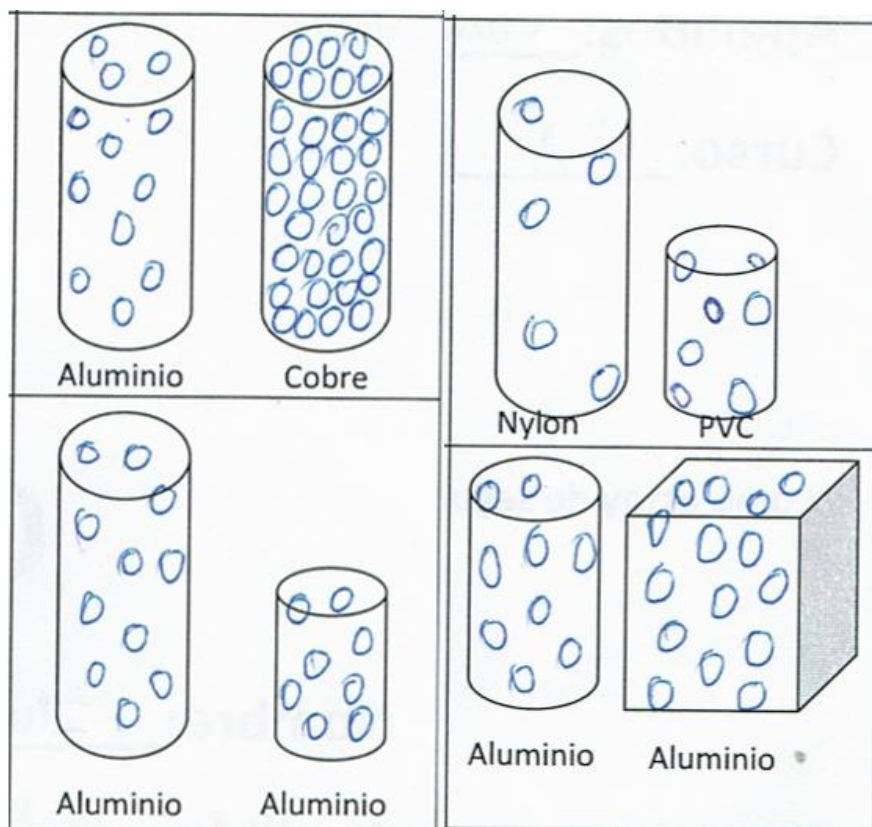


Figura 19: Dibujos de un estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona

De los dibujos de la figura 20 (estudiante de 1º de Bachillerato de Barcelona) se ha interpretado el modelo de empaquetamiento para representar la densidad. La estudiante explica en forma de texto: "La barra de aluminio la he dibujado con menos bolitas (átomos) que el cobre" "Las bolitas del nylon están más separadas entre ellas que las del PVC" "El tamaño de las bolitas no es el mismo en materiales diferentes". Según sus palabras, el modelo de empaquetamiento estaría presente, pero la estudiante también señala que está pensando en un modelo micro, aunque en los dibujos no se aprecie claramente el diferente tamaño de las partículas.

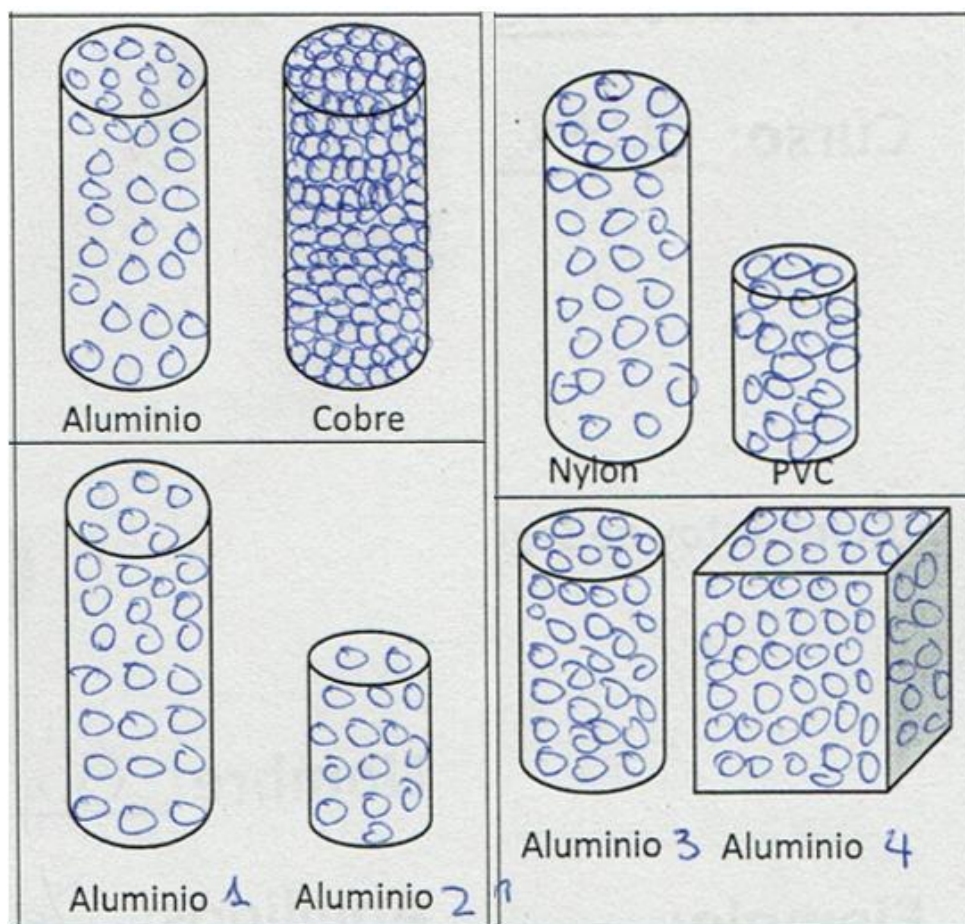


Figura 20: Dibujos de una estudiante de 1º de Bachillerato de Barcelona

-Modelo micro para representar la densidad:

El modelo micro se encuentra en los dibujos de varios estudiantes en combinación con el modelo de empaquetamiento, como en los dibujos de la figura 21, que pertenecen a una estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona. En los dibujos las partículas de PVC y cobre (materiales densos en comparación con sus parejas) estaban más juntas y tenían diferentes tamaños. La estudiante explicaba que “el cobre estará más lleno porque tiene mayor densidad, así que está todo más junto” y que “el PVC tiene menos hueco porque es más denso”. Sobre el diferente tamaño de las partículas se expresaba de la siguiente manera: “yo me imagino más pequeñas las del PVC, pero no me acuerdo de por qué”.

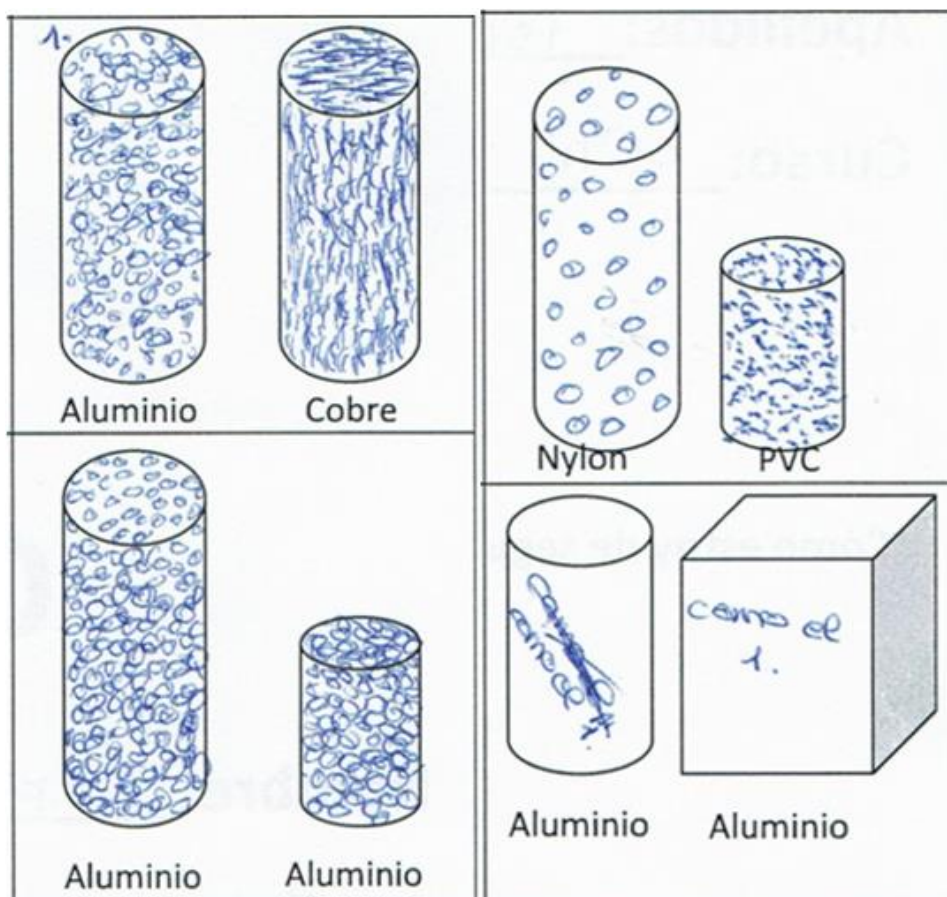


Figura 21: Dibujos de una estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona

El modelo micro también se encontró en un caso aislado en combinación con un modelo extensivo para representar la densidad. En la figura 22 se pueden observar los dibujos a partir de los cuales se interpretó dicha combinación de modelos. La estudiante explica con palabras el significado de sus dibujos: "las partículas de la barra de PVC son más grandes, lo que le hace tener más densidad", "las partículas de la barra de cobre ocupan todo el espacio, a diferencia de las de aluminio".

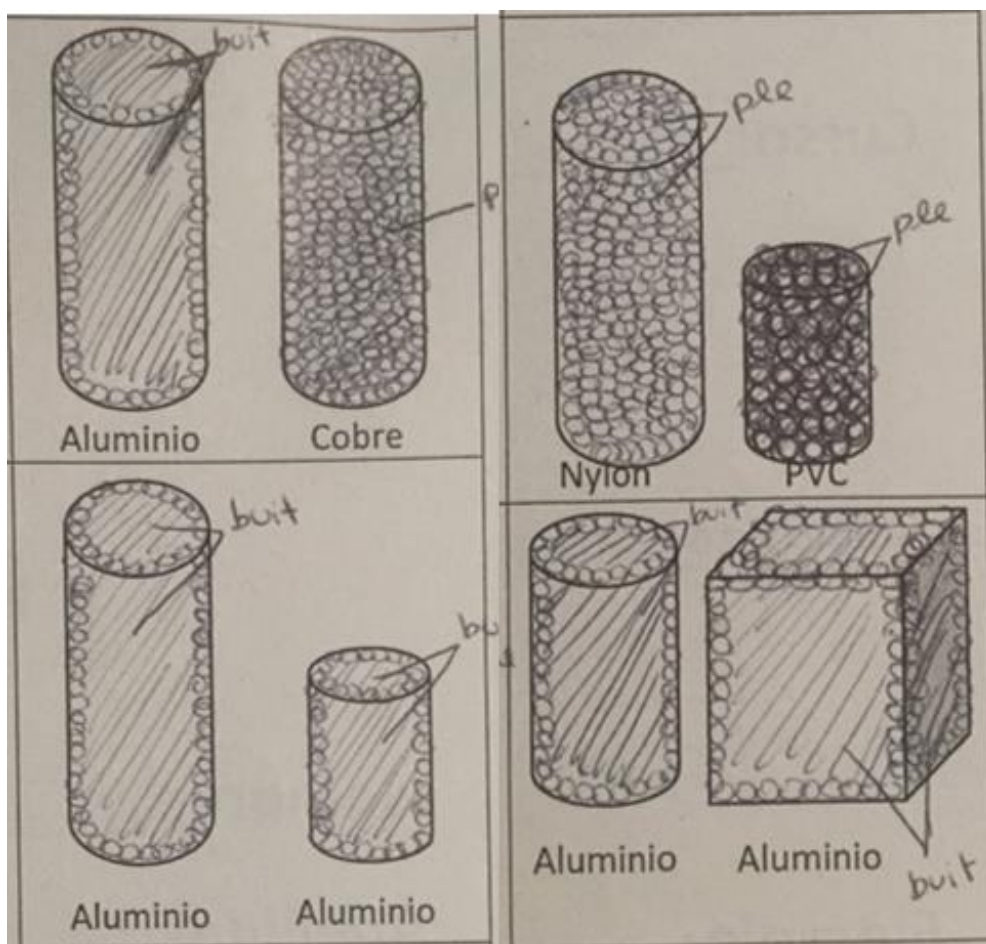


Figura 22: Dibujos de una estudiante de 2º de Bachillerato de Barcelona

En la figura 23 se observan los dibujos de un alumno de 4º de la E.S.O. de Barcelona, de los que se ha interpretado un modelo micro para representar la densidad. La explicación del estudiante es la siguiente: “no significa nada que las partículas de PVC sean más grandes, mi intención era hacer entender que en nylon había más partículas que en el PVC”. Por tanto, el modelo micro interpretado no estaría presente en el alumno atendiendo a sus palabras.

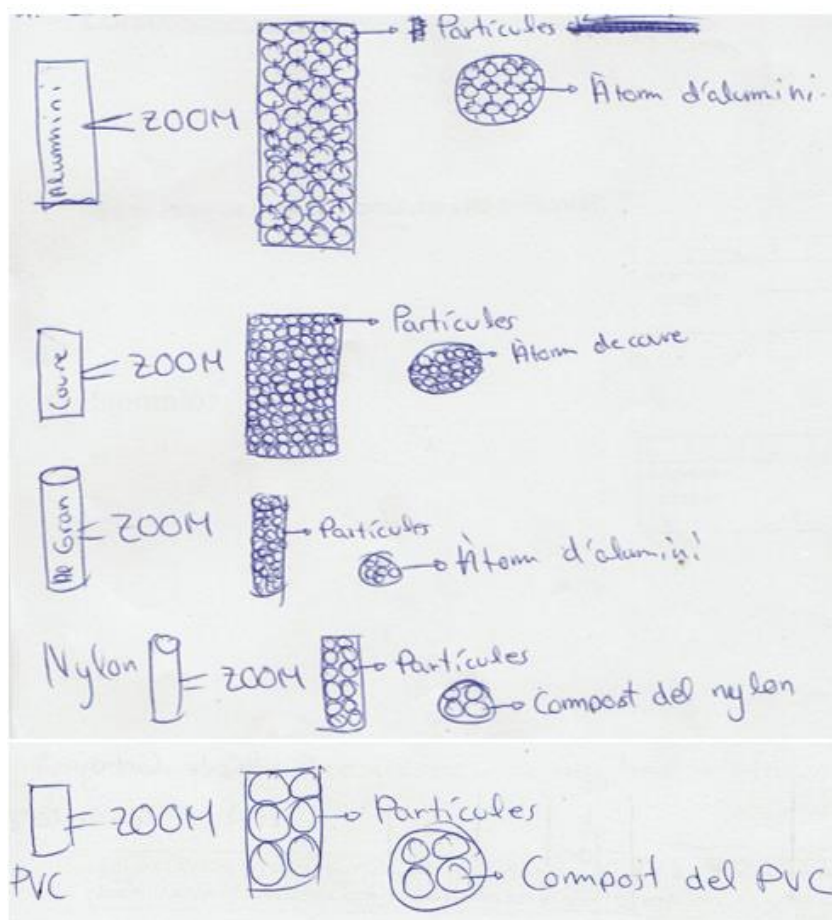


Figura 23: Dibujos de un estudiante de 4º E.S.O. de Barcelona

Los siguientes dibujos (figura 24) de una estudiante de 1º de Bachillerato de Barcelona han sido interpretados como modelo combinado de empaquetamiento y micro para representar la densidad. La estudiante explica: "El cobre tiene más bolitas por espacio", "objetos del mismo material tienen el mismo número de bolitas por espacio", "las moléculas del cobre son más pequeñas porque de esta manera he podido dibujar un número mayor por espacio". Por lo tanto, el modelo de empaquetamiento está correctamente interpretado, pero la estudiante no refleja el modelo micro en sus palabras.

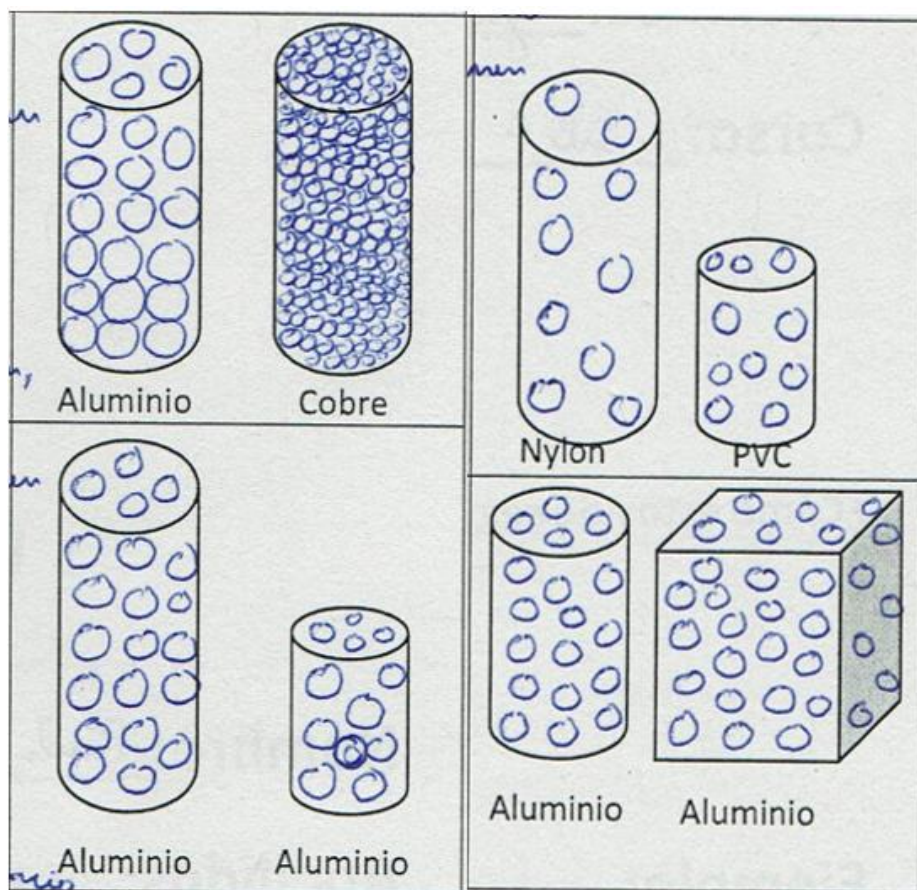


Figura 24: Dibujos de una estudiante de 1º de Bachillerato de Barcelona

De los dibujos de la figura 25 (estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona) se han interpretado los modelos de empaquetamiento y micro. El estudiante explica en su texto: "Las bolitas representan cómo pienso que está formado ese material por sus átomos. Cuanto más juntas estén las bolitas, más pesa el material o más denso es", "las bolitas de cobre y PVC son más pequeñas porque intenté hacerlo diferente a los demás" y "el nylon lo represento diferente porque me recuerda al nylon de pescar y pienso que es como un hilo bien enrollado". Según las palabras del estudiante el modelo de empaquetamiento estaría bien interpretado de los dibujos, pero el modelo micro no estaría presente, ya que "hacerlo diferente a los demás" no significa que esté pensando en partículas con más masa.

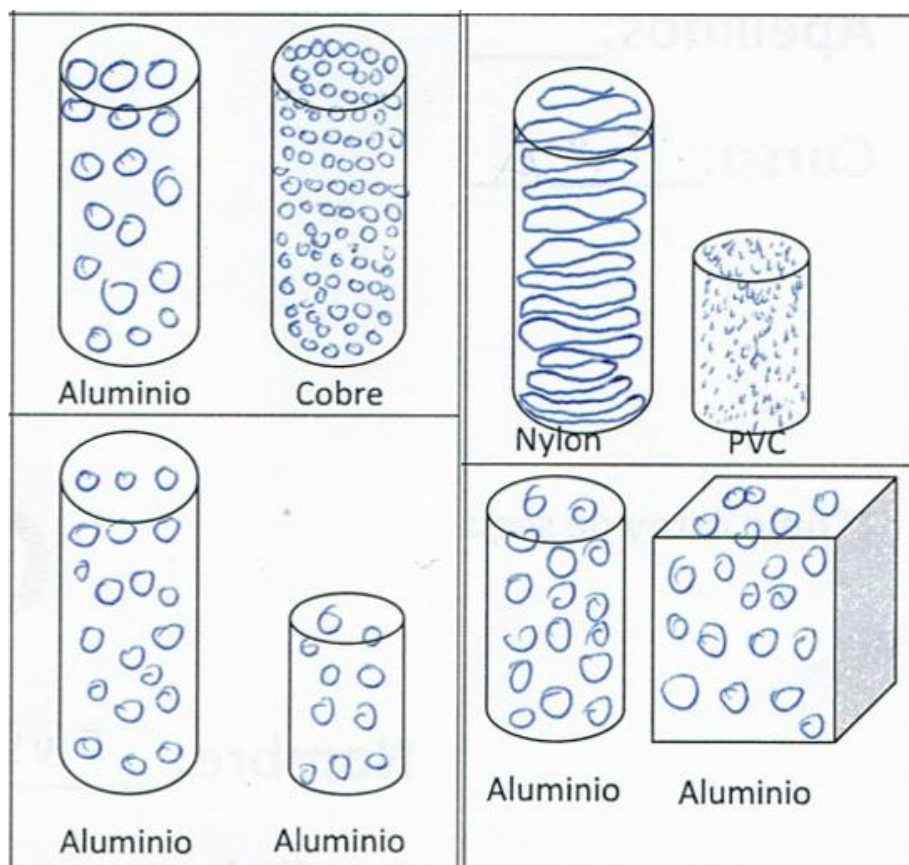


Figura 25: Dibujos de un estudiante de 4º E.S.O. de Pamplona

En las siguientes tablas (6, 7 y 8) se pueden observar las diferencias que existen entre lo interpretado inicialmente (basado únicamente en los dibujos) y lo que se interpreta añadiendo el texto explicativo. Se analiza las diferencias detectadas según los diferentes modelos para representar la densidad (empaquetamiento, extensivo y micro). Las casillas sombreadas con un color rojizo son los casos en los que cambia la interpretación realizada, es decir, son aquellos casos en los que la interpretación del dibujo no coincide con lo expuesto en palabras por el alumno/a. Cabe señalar que estos datos únicamente corresponden a aquellos alumnos/as de los que se tiene tanto los dibujos como el texto explicativo, que corresponden a 13 alumnos/as de 4º A E.S.O. de Pamplona, 12 alumnos/as de 4º E.S.O. de Barcelona, 11 alumnos/as de 1º de Bachillerato de Barcelona y 7 alumnos/as de 2º de Bachillerato de Barcelona. En total, son 43 las muestras que se han utilizado para comparar las interpretaciones según el dibujo o el texto.

La tabla 6 corresponde a las diferencias de interpretación en un modelo de empaquetamiento para representar la densidad. En ella se puede ver que únicamente existe un caso en el que la interpretación ha variado con la explicación en forma de texto. Se trata de un

caso donde se había interpretado un modelo de empaquetamiento, pero después de leer las explicaciones del estudiante se ha descartado este modelo.

Tabla 6: Diferencias entre lo interpretado según los dibujos y según el texto en el modelo de empaquetamiento

EMPAQUETAMIENTO			
INTERPRETACIÓN SEGÚN DIBUJOS		INTERPRETACIÓN SEGÚN TEXTO	
SI	29	SI	28
		NO	1
NO	14	SI	0
		NO	14

El modelo extensivo raramente se encuentra entre el alumnado y, como se puede ver en la tabla 7, el único caso de este modelo encontrado en la muestra de 43 alumnos/as se mantiene después de las explicaciones del estudiante.

Tabla 7: Diferencias entre lo interpretado según los dibujos y según el texto en el modelo extensivo

EXTENSIVO			
INTERPRETACIÓN SEGÚN DIBUJOS		INTERPRETACIÓN SEGÚN TEXTO	
SI	1	SI	1
		NO	0
NO	42	SI	0
		NO	42

En la tabla 8 se pueden observar estas diferencias de interpretaciones en el modelo micro para representar la densidad. Según los dibujos se habían interpretado 8 de ellos como una estrategia micro para representar la densidad. Después de analizar el texto explicativo de la muestra, el número de casos que utilizan un modelo micro en sus palabras sigue siendo 8. Sin embargo, se puede observar que 4 casos en los que se había interpretado un modelo micro según los dibujos no reflejan este modelo en sus palabras. Otros 4 casos que no estaban clasificados como modelo micro según sus dibujos aluden a un modelo micro en su explicación de la densidad en forma de texto.

Tabla 8: Diferencias entre lo interpretado según los dibujos y según el texto en el modelo micro

MICRO			
INTERPRETACIÓN SEGÚN DIBUJOS		INTERPRETACIÓN SEGÚN TEXTO	
SI	8	SI	4
		NO	4
NO	35	SI	4
		NO	31

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se ha visto anteriormente, el volumen es la propiedad mejor estimada entre las parejas de objetos, ya que con el kit de materiales las diferencias en volumen se aprecian visualmente.

La estimación de la masa en los diferentes pares de objetos también tiene un porcentaje alto de aciertos, aunque al estimar la masa de la pareja de cilindros de nylon y PVC se encontraron dificultades. Las dificultades al estimar la masa en esta pareja de objetos provienen básicamente de no leer el enunciado de la cuestión con atención, ya que se decía claramente que ambos tenían la misma masa. A partir de ahí, estas dificultades pueden deberse a que son materiales ligeros y su masa no varía prácticamente, es decir, con la experiencia sensorial de sopesarlos no se encuentran diferencias en masa. También puede deberse a que tienen diferente volumen, por lo que parte del alumnado puede atribuir mayor masa al objeto más grande, ignorando que se trata de materiales diferentes. En esta pareja de objetos, la percepción es multisensorial, ya que la información se ofrece en forma de texto, se pueden sopesar y visualmente son de diferente color, algo que también puede llevar a pensar que el más oscuro (PVC) tenga más masa.

La densidad se estima peor que la masa y el volumen. Muchos de los fallos al estimar la densidad se deben a que el alumnado infiere la densidad según las magnitudes de masa y volumen. De esta manera, las estrategias utilizadas para estimar la densidad en objetos del mismo material indican que parte del alumnado se guía por un criterio extensivo, atribuyendo mayor densidad al objeto más grande o con más masa. Esta estrategia concuerda con la bibliografía revisada, ya que el alumnado que la utiliza focaliza su atención en una sola propiedad (masa o volumen) para inferir la densidad. Resulta más extraña la estrategia encontrada mayoritariamente en alumnado del centro de Pamplona, estrategia que, en objetos del mismo material, atribuye mayor densidad al objeto más pequeño, guiándose por un criterio de empaquetamiento como se observa en las palabras de algunos estudiantes. Es posible que la metodología utilizada en este centro para explicar algún aspecto sobre la densidad esté reforzando una idea equivocada. Puede ser que, al trabajar los cambios en densidad producidos en un material por efecto de presión y temperatura, se esté proponiendo una explicación o experimento que crea confusión y refuerza esta estrategia para inferir la densidad en objetos del mismo material. Estos objetos del mismo material no son percibidos como de igual densidad por los alumnos/as que siguen alguna de las estrategias citadas, es decir, no entienden la densidad como una propiedad específica de cada material. Al focalizar su atención en una sola

propiedad ignoran que la densidad es una relación y que se trata de una propiedad intensiva. Estas dificultades, propias de edades tempranas, siguen apareciendo en estudiantes de edades más avanzadas, por lo que resulta necesario investigar cuál es la situación actual, con el fin de darle un enfoque diferente y cambiar la metodología de trabajo utilizada para estudiar la densidad.

A la hora de representar la materia muchos estudiantes (alrededor del 30%) carecen de estrategias o son simples (tramas). Estos estudiantes se guían por lo que perciben sensorialmente del objeto y son incapaces de abstraerse y transferir el conocimiento que tienen sobre la materia a un objeto real. En este sentido, son varios los estudiantes que dibujan el material a nivel microscópico según las rayas presentes debidas al mecanizado de los objetos. El grupo de 4º de la E.S.O. de Barcelona utiliza mayoritariamente estrategias más sofisticadas para representar la densidad. Esto puede ser debido a que el cuestionario lo hayan realizado justo después de trabajar el bloque sobre la materia. También puede ser que la investigadora haya intervenido previamente en la preparación de las clases referidas a la materia, aunque este dato se desconoce.

Entre las estrategias consideradas para representar la densidad, el alumnado se centra mayoritariamente en el empaquetamiento como causa de la densidad. Muy pocos alumnos/as (8) son capaces de considerar la masa de las partículas como otra causa de la densidad (modelo micro). Los alumnos que consideran un modelo micro lo hacen generalmente junto con un modelo de empaquetamiento (6/8), que sería la combinación científicamente más correcta. Además, existe gran parte del alumnado (aproximadamente un 40 %) que carece de estrategia alguna para representar la densidad.

En cuanto a la interpretación realizada para clasificar a los estudiantes según los modelos que utilizan para representar la densidad, se puede decir que el modelo de empaquetamiento es interpretable con bastante exactitud atendiendo únicamente a los dibujos. Sin embargo, a la hora de adjudicar el modelo micro es conveniente una explicación en forma de texto que aclare el modelo en cuestión, ya que, de otra manera, se detectarían “falsos” modelos micro y se dejarían de incluir modelos micro que en los dibujos no se aprecian con claridad. El modelo extensivo está poco presente entre el alumnado/a, pero resulta evidente cuando se encuentra en los dibujos. Por lo tanto, la hora de identificar estrategias y posibles obstáculos para el aprendizaje entre los estudiantes, los docentes o investigadores deberían tener en consideración tanto los dibujos como los textos, como se sugiere en la introducción (Brooks, 2009).

BIBLIOGRAFÍA

Brooks, M. (2009). Drawing, Visualisation and Young Children's Exploration of "Big Ideas". *International Journal of Science Education*, 31(3), pp.319-341.

Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. and Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science*.

Grotzer, T., Houghton, C. and Basca, B. (2005). *Causal Patterns in Density*. (National Science Foundation, Ed). Cambridge.

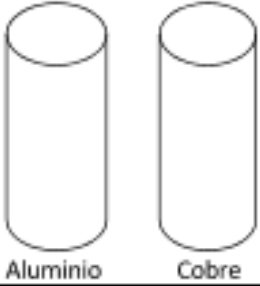
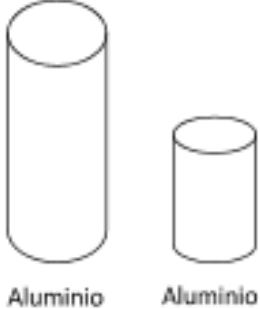
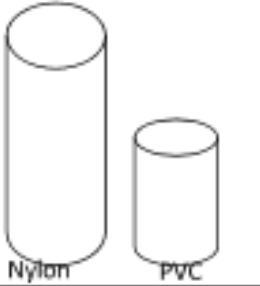
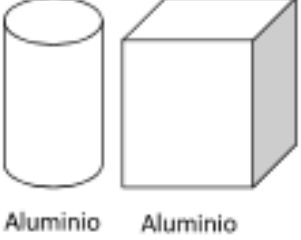
Napal, M., Echeverría, J., Zulet, A., Santos, L. and Ibarra, J. (2017). *Estrategias del alumnado para la estimación de la densidad en la Educación Secundaria*.

Napal, M., Echeverría, J. and Ibarra, J. (2017). *Estrategias para la representación de la materia y la densidad en alumnado de Secundaria*.

Napal, M. and Ibarra, J. (2016). *Cómo depende la competencia en la estimación de la densidad de los datos sensoriales*.

6. ANEXO 1: CUESTIONARIO

5. Indica qué bloque tiene más masa, más volumen o mayor densidad. A continuación, dibuja cómo te imaginas el material a nivel microscópico, como si lo viésemos con un zoom superpotente.

BLOQUES	Explicación	Dibujo
Barra aluminio y cobre del mismo tamaño ¿Mayor volumen? ¿Mayor masa? ¿Mayor densidad?		 Aluminio Cobre
Barra aluminio grande y barra aluminio pequeña ¿Mayor volumen? ¿Mayor masa? ¿Mayor densidad?		 Aluminio Aluminio
Barra de Nylon blanca y de PVC negro que tienen la misma masa ¿Mayor volumen? ¿Mayor masa? ¿Mayor densidad?		 Nylon PVC
Barra de aluminio y bloque de aluminio de la misma altura. ¿Mayor volumen? ¿Mayor masa? ¿Mayor densidad?		 Aluminio Aluminio